

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Российский университет транспорта (МИИТ)»
РУТ (МИИТ)

На правах рукописи



ЛОБАНОВ ИВАН ИГОРЕВИЧ

**ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ТЕПЛОВОЗНЫХ ДИЗЕЛЕЙ ПРИМЕНЕНИЕМ СРЕДСТВ
ОПЕРАТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ**

05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов
и электрификация

Диссертация на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук, доцент
Балабин В.Н.

Москва – 2017

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Общая характеристика работы	6
ВВЕДЕНИЕ	12
1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ	14
1.1 Анализ состояния тепловозного парка	14
1.2 Анализ причин отказов основных узлов и агрегатов тепловозных дизелей	16
1.3 Тепловозный дизель как объект диагностирования	23
1.4 Обзор работ, посвященных направлению исследования	28
1.5 Выводы по главе	32
1.6 Цель и задачи исследования	34
2 ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ТЕПЛОВОЗНЫХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК	36
2.1 Классификация существующих систем технической диагностики дизелей тепловозов	38
2.1.1 Стационарные системы	38
2.1.2 Портативные системы диагностирования	41
2.1.3 Мобильные системы	43
2.1.4 Измерители и тестеры	48
2.1.5 Бортовые системы	49
2.2 Сравнительный анализ систем диагностики тепловозных дизелей	52
2.3 Перспективы оперативной диагностики тепловозных дизелей	53
2.4 Выводы по главе	57

	Стр.	
3	РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ТЕПЛОВОЗНЫХ ДИЗЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ СРЕДСТВ ОПЕРАТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ	58
3.1	Система мониторинга дизельных двигателей СМДд	60
3.2	Механотестер топливной аппаратуры МТА-2	65
3.3	Анализатор герметичности цилиндров АГЦ-2	67
3.4	Выводы по главе	75
4	РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВЫПУСКНЫХ ГАЗОВ ПО КОСВЕННЫМ ПАРАМЕТРАМ	76
4.1	Постановка задачи	76
4.2	Влияние изменения основных параметров рабочего процесса на исследуемую величину температурного коэффициента	78
4.3	Методика регистрации и обработки экспериментальных данных	88
4.4	Результаты экспериментальных исследований	90
4.5	Анализ результатов	92
4.5.1	Проверка состоятельности регрессии и выбор значимых объясняющих переменных	92
4.5.2	Построение объясняющего полинома	96
4.5.3	Представление отклонения каждого отдельного измерения от общей зависимости в виде полинома	101
4.6	Сопоставление результатов экспериментальных исследований с результатами математического моделирования	103
4.7	Выводы по главе	110
5	РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОПЕРАТИВНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ	111
5.1	Разработка методики проведения оперативного диагности-	

	Стр.
рования	111
5.2 Разработка экспертной системы оценки технического состояния дизелей тепловозов на основе нечеткой логики	114
5.3 Выводы по главе	121
6 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ТЕПЛОВОЗНЫХ ДИЗЕЛЕЙ	123
6.1 Особенности диагностирования дизелей типа Д49 (ЧН26/26) и К6S310DR (6ЧН31/36) системой СМДд	123
6.2 Результаты диагностирования дизелей системой СМДд	126
6.3 Особенности диагностирования дизелей типа Д49 (ЧН26/26) с помощью механотестера топливной аппаратуры МТА-2	133
6.4 Выводы по главе	135
7 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ ОПЕРАТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ	137
7.1 Годовой экономический эффект от применения средств оперативной диагностики	137
7.2 Расчет общей эффективности применения средств оперативной диагностики с использованием системы дисконтирования	140
7.3 Выводы по главе	143
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	144
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ	146
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	147
ПРИЛОЖЕНИЕ А Сводные отчеты результатов измерений основных параметров рабочего процесса системой СМДд	171

ПРИЛОЖЕНИЕ Б	Диапазоны изменения основных параметров рабочего процесса дизеля на всех позициях контроллера машиниста	178
ПРИЛОЖЕНИЕ В	Изменение параметров рабочего процесса при неисправностях основных узлов дизеля	183
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	Результаты диагностирования дизелей тепловозов в депо ТЧР-21 Елец системой СМДд	186
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	Технологический процесс применения переносного диагностического комплекса (ПДК)	194
ПРИЛОЖЕНИЕ Е	Расчет годового экономического эффекта от применения средств оперативной диагностики	203

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования. В процессе эксплуатации подвижного состава узлы и агрегаты тепловозных дизелей подвергаются воздействию возрастающих нагрузок, обусловленных увеличением массы поездов, повышением скоростей движения и среднесуточных пробегов локомотива.

Анализ статистических данных показывает, что более 30 % отказов тепловозов приходится на неисправности дизелей. При этом отказы топливной аппаратуры и цилиндропоршневой группы составляют более 20 % от общего количества отказов дизелей в эксплуатации.

Выявление дефектов узлов дизелей возможно при производстве реостатных испытаний, т.е. на пунктах стационарной диагностики в депо, что является трудоемкой и затратной операцией. Более эффективное и менее затратное выявление неисправностей, возникающих в процессе эксплуатации, может быть достигнуто путем разработки системы средств оперативной диагностики технического состояния дизельных двигателей – системы мониторинга дизельных двигателей (СМДд).

Разработка и внедрение в производственный процесс эксплуатации тепловозов средств и методов оперативной диагностики (СМДд) для своевременного выявления отказов и предотказных состояний узлов дизелей, без постановки тепловозов на пункты стационарной диагностики, является **актуальной задачей**.

Особое значение достоверное диагностирование методами и средствами оперативной диагностики приобретает в условиях повсеместного перехода от планово-предупредительной системы технического обслуживания и ремонта тепловозов к системе обслуживания по техническому состоянию.

Степень разработки темы. Одним из основных направлений в обеспечении надежности транспортных дизелей является развитие методов и средств диагностирования, которому посвящены работы многих ученых, в частности: А.Э. Симсон, А.З. Хомич, Н.А. Фуфрянский, А.И. Володин, Д.Я. Носырев, Э.А. Пахомов, Ю.Е. Просвилов, Э.Д. Тартаковский, В.А. Четвергов,

В.С. Наговицын, Е.Е. Коссов, Р.К. Гизатуллин, Р.А. Варбанец, В.Г. Ивановский, В.А. Чечет, А.Ю. Коньков, С.А. Пальтов, А.С. Кулешов, А.А. Обозов, Е.А. Никитин, В.А. Рыжов, Э.А. Улановский, В.Д. Карминский, С.В. Камкин, В.А. Кручек и другие.

Разработка новых методов и средств контроля и диагностики технического состояния цилиндропоршневой группы, топливной аппаратуры и механизма газораспределения дизельных двигателей производится многими научно-исследовательскими организациями и ВУЗами (ВНИКТИ, ЦНИДИ, ПКБ ЦТ, ВНИИЖТ, НИИТКД, МИИТ, ПГУПС, ОмГУПС, СамГУПС, РГУПС, ДВГУПС, ОНМУ, РГАУ-МСХА), а также зарубежными фирмами, в частности: «Malin Instruments Ltd.», «Lemag», «Autronica», «Icon Reserch Ltd.», «Imes GmbH», «Kyma a.s.», «Kistler Group», «Friedrich Leutert GmbH & Co», «MAN B&W», «Caterpillar-Zeppelin», «Cummins» и др.

Диссертационная работа выполнена в соответствии со стратегией научно-технического развития холдинга ОАО «РЖД» на период до 2020 г. и перспективу до 2025 г. («Белая книга»), и планом научно-технических работ Московского государственного университета путей сообщения (тема НИР № г.р. 1.017.09).

Цель диссертационной работы – повышение эксплуатационной надежности тепловозов путем совершенствования контроля технического состояния дизелей методами и средствами оперативной диагностики.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

1. Выполнен анализ существующих методов и средств контроля и диагностирования дизелей тепловозов, позволяющих оценивать их техническое состояние средствами стационарной диагностики.

2. Сформулированы принципы проведения оперативной диагностики параметров рабочего процесса, учитывающие специфику эксплуатации дизелей тепловозов.

3. Разработана методика проведения оперативного диагностического контроля технического состояния топливной аппаратуры, механизма газо-

распределения и цилиндропоршневой группы. Сконструирован переносной диагностический комплекс, для тепловозных дизелей, позволяющий реализовать предложенную методику оперативного контроля.

4. Установлена взаимосвязь между диагностическими параметрами контроля рабочего процесса дизеля и параметрами надежности ресурса, экологическими и экономическими характеристиками работы дизеля, позволяющими определить его техническое состояние как в межремонтные периоды эксплуатации, так и при проведении плановых видов технического обслуживания и ремонта (ТО и ТР).

5. Проведена оценка эффективности предложенного метода оперативного диагностического контроля параметров рабочего процесса дизеля и надежности работы узлов топливной аппаратуры, механизма газораспределения и цилиндропоршневой группы.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Разработана методика и обоснованы критерии оценки диагностических параметров оперативной диагностики рабочего процесса дизеля и технического состояния узлов топливной аппаратуры, механизма газораспределения и цилиндропоршневой группы тепловозных дизелей.

2. Создано техническое устройство диагностический комплект, включающий систему мониторинга дизельных двигателей СМДд, механотестер топливной аппаратуры МТА-2 и анализатор герметичности цилиндров АГЦ-2, что позволяет реализовать методику оперативного контроля дизелей.

3. Определены режимы работы дизелей, на которых достигается наибольшая информативность получаемых диагностических параметров.

4. Разработан алгоритм оперативной диагностики технического состояния топливной аппаратуры, механизма газораспределения и цилиндропоршневой группы тепловозных дизелей по параметрам рабочего процесса дизеля, и метод экспресс-анализа состояния дизеля по косвенному критерию.

Теоретическая и практическая значимость исследований заключается в следующем:

1. Разработана комплексная система диагностики тепловозных дизелей средствами оперативного мониторинга, обоснованы рациональные области её применения.

2. Разработаны и апробированы алгоритмы системы оперативной диагностики, обеспечивающие получение заключения о техническом состоянии дизеля тепловоза без непосредственного внедрения в топливную систему высокого давления и механизм газораспределения для принятия решения по дальнейшей эксплуатации или ремонту.

3. Технология оперативной диагностики даёт возможность получить диагностическую информацию без вывода тепловоза из эксплуатации и уточнить объёмы предполагаемых видов ремонта.

4. Результаты исследования позволяют уменьшить воздействие выхлопных газов дизелей на экологические параметры окружающей среды.

5. Разработанный подход применения оперативной диагностики тепловозных дизелей позволит повысить надёжность работы тепловозов в эксплуатации.

Практические разработки предназначены для использования непосредственно в эксплуатационных локомотивных депо. Методики, алгоритмы и предлагаемые конструктивные решения могут применяться в научных, производственных и учебных целях.

Объектами исследования приняты параметры рабочего процесса дизеля тепловозов и надёжность работы узлов топливоподачи и газораспределения в эксплуатации

Методология и методы исследований. Применены методы математической статистики и теории вероятности, математического моделирования и планирования эксперимента и методы обработки данных с использованием положений нечеткой логики.

Основные положения, выносимые на защиту:

- комплексная система оперативного диагностирования тепловозного дизеля, использующая результаты индицирования параметров рабочего про-

цесса в цилиндрах дизеля, и диагностики цилиндропоршневой группы, топливной аппаратуры и механизма газораспределения в условиях эксплуатации.

- метод оценки технического состояния цилиндропоршневой группы, топливной аппаратуры и механизма газораспределения, основанный на результатах измерения параметров рабочего процесса и относительного изменения температуры отработавших газов.

- методика проведения оперативного диагностического контроля технического состояния топливной аппаратуры, механизма газораспределения и цилиндропоршневой группы вне стационарных средств диагностики.

Достоверность научных положений и результатов диссертационной работы подтверждена путем сопоставления полученных экспериментальных и теоретических результатов. Погрешность, определенная сравнением результатов косвенного измерения с результатами непосредственного измерения температуры на выходе из цилиндров дизеля, не превышает 10-15 %. Расхождение диагнозов поставленных системой оперативной диагностики с техническим состоянием элементов и узлов тепловозного дизеля, выявленным при ремонтах не превышало 5 % случаев.

Экспериментальная оценка эффективности применения разработанной системы оперативной диагностики технического состояния дизелей тепловозов проводилась в депо ТЧР-7 Санкт-Петербург-Сортировочный-Московский Октябрьской ж.д., депо ТЧР-21 Елец Юго-Восточной ж.д., депо ТЧ-2 Люблино Московской ж.д., депо ТЧР-35 Узловая Московской ж.д., Ногинском и Подольском ПШЖТ.

Личный вклад автора диссертационной работы. Решена задача создания комплексной системы оперативной диагностики локомотивных ДГУ, разработаны методики и проведены расчетные и экспериментальные исследования, выполнен анализ и обобщение полученных результатов, созданы технические комплекты устройств и приспособлений для тепловозных дизелей.

Апробация работы. Основные материалы диссертации докладывались на:

- VII, X, XI, XII и XIII научно-практических конференциях «Наука транспорту» (г. Москва, МИИТ, 2006-2012 гг.);
- VII, IX, X, XI, XII, XIII и XIV научно-практических конференциях «Безопасность движения поездов» (г. Москва, МИИТ, 2006-2013 гг.);
- V международной научно-практической конференции «Trans-Mech-Art-Chem» (г. Москва, МИИТ, 2008 г.);
- III международной научно-технической конференции «Эффективность, надежность и безопасность энергетических установок (Энергоустановки – 2008)» (Украина, г. Севастополь-Батилиман, 2008 г.);
- VI Международной научно-практической конференции «Проблемы безопасности на транспорте», посвященная 150-летию Белорусской железной дороги (Республика Беларусь, г. Гомель, БелГУТ, 2012 г.);
- Первой международной научно-практической конференции «Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов» (г. Москва, 2014 г.);
- Научно-практическом семинаре «Пути снижения затрат на эксплуатацию сельскохозяйственной, строительной, дорожной и другой техники на базе мобильных энергетических установок» (г. Москва, РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, 2016 г.)

Публикации

Основные положения диссертационной работы и полученные результаты опубликованы в 17-и печатных работах, из них 5 в периодических изданиях, включенных в перечень ВАК РФ.

Структура работы. Работа состоит из введения, 7 разделов и заключения. Общий объем работы: 209 стр., 6 приложений, 46 рисунков, 22 таблицы. Библиографический список содержит 192 наименования.

ВВЕДЕНИЕ

В России железнодорожный транспорт занимает ведущее место в транспортной системе страны, выполняет 85 % грузооборота и 38 % пассажирооборота общественного пользования.

Основными показателями работы тепловоза являются надежность, мощность и экономичность, определяемые техническим состоянием. Существующая до настоящего времени система технического обслуживания и текущих ремонтов по регламентированным перечням без оценки технического состояния ведет к неоправданным затратам.

Согласно целевой программе «Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года», утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации от 17 июня 2008 г. № 877-р, одним из основных направлений научно-технического развития ОАО «Российские железные дороги» является повышение экономичности и увеличение эксплуатационного ресурса технических средств [152].

В целях повышения эффективности использования инвентарного парка локомотивов, оптимизации его содержания и установления порядка отнесения ответственности за учетные состояния локомотивов за дирекциями, сервисными компаниями, локомотиворемонтными и локомотивостроительными заводами, включая экспериментальное кольцо ВНИИЖТ, разработано соответствующее Положение № 2146р, утвержденное распоряжением ОАО «РЖД» от 12 сентября 2014 г [127].

Повышение эксплуатационной эффективности дизельного подвижного состава неразрывно связано с совершенствованием системы технического обслуживания и ремонта путем перехода к системе ремонта подвижного состава по состоянию, реализация, которой во многом определяется уровнем информационного сопровождения процессов эксплуатации, ремонта, технического контроля и диагностирования [151].

Отсутствие единого системного подхода к вопросам диагностического обеспечения дизельного подвижного состава привело к созданию различных

по техническим возможностям и методическому сопровождению диагностических средств, ни одно из которых в полной мере не обеспечивает требуемого информационного сопровождения процессов эксплуатации, технического обслуживания и ремонта.

Для обеспечения надежной работы тепловозных дизелей, снижения затрат на техническое обслуживание и ремонт необходима точная оценка их технического состояния в течение всего периода эксплуатации, что осуществимо лишь при внедрении современных методов, средств и систем технического контроля и диагностирования.

Известно, что в межремонтный период эксплуатации тепловозов возможно снижение мощности до уровня в 70-60 %, с одновременным ухудшением экономичности до 35 % паспортных значений. Во многом это происходит из-за неприятия своевременных мер по восстановлению работоспособности основных систем и агрегатов двигателей, в том числе и топливной аппаратуры, по причине отсутствия детализированной и точной информации об изменении характера рабочего процесса в цилиндрах.

В связи с этим в последние годы на сети дорог ОАО «РЖД» внедряются автоматизированные системы технического диагностирования, способные существенно повысить достоверность диагноза при одновременном снижении трудоемкости, времени его проведения и обработки полученных результатов, обеспечивают высокую компактность и модульную простоту.

С 2006 года по настоящее время автор диссертации принимает активное участие в исследовании современных средств и методов диагностирования. Целью таких работ являлось решение задач по оперативной оценке технического состояния дизелей локомотивов в межремонтный период их эксплуатации с помощью переносного диагностического комплекса. Одновременно шло накопление статистических данных, позволивших выйти на новый научный уровень решения методологических проблем, связанных с анализом температурных теплотехнических вопросов, до сих пор не решаемых диагностическим сообществом.

1 АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Анализ состояния тепловозного парка

По данным ОАО «РЖД» за 2015 г. локомотивный комплекс составляют 20856 единиц тягового подвижного состава (10614 электровозов и 10242 тепловозов), в том числе в эксплуатируемом парке – 14029,79 единиц. Эксплуатируемый парк тепловозов на сети дорог ОАО «РЖД» значительно устарел, так как был построен с использованием технических решений и достижений науки 50–70х годов.

По состоянию на 01.01.2015г. инвентарный парк локомотивов составляет 20856 единицы, износ парка – 64,22 %, средний возраст локомотива – 27,09 лет. Тепловозы – 10246,52 единицы, износ парка 64,62 %, средний возраст локомотива 26,84 лет.

Из них: грузовые тепловозы – 3579,5 единицы, износ парка 60,93 %, средний возраст локомотива 26,64 лет; пассажирские тепловозы – 647единиц, износ парка 30,02 %, средний возраст локомотива 13,42 лет; маневровые тепловозы – 6020 единица, износ парка 69,80 %, средний возраст локомотива 28,4 года.

Процесс обновления парка современными локомотивами продолжается. За последние 5 лет закуплено 2842 единицы, что в совокупности с реализацией мер по продлению срока службы эксплуатируемого парка позволило в 3,7 раза снизить процент локомотивов, эксплуатирующихся с истекшим сроком службы (с 25,7 % до 6,8 %). На 9,2 % снижен общий износ (с 81,7 до 72,5 %).

В настоящее время в Локомотивном комплексе реализуется целенаправленная политика по оздоровлению парка тягового подвижного состава для исключения угрозы рисков нарушения безопасности движения, возникновения опасных отказов и обеспечения ритмичности перевозочного процесса, что позволит не допустить риска запрета эксплуатации локомотивов, вырабо-

тавших свой ресурс (срок службы), сократить случаи их непроизводительных простоев на неплановых ремонтах.

Расчеты, проведенные Институтом экономики и развития транспорта (ОАО «ИЭРТ») для программы обновления локомотивного парка показали, что для стабилизации тенденции износа парка локомотивов на уровне 2012 года, требуется ежегодная закупка новых локомотивов в количестве не менее 725 единиц. Кроме того, необходимо проведение модернизации с продлением срока полезного использования в среднем 400 локомотивам в год (см. рисунок 1.1).

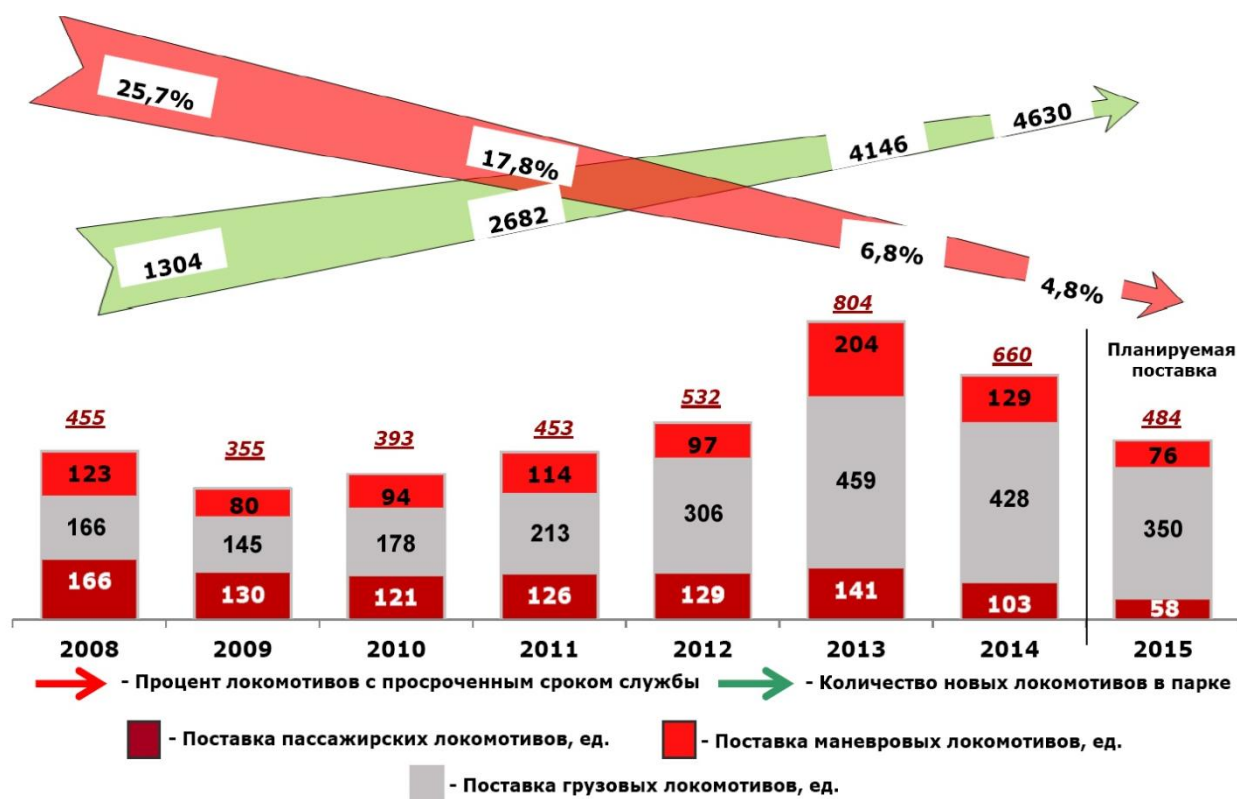


Рисунок 1.1 – Динамика износа локомотивного парка в зависимости от процесса его обновления за период 2010 – 2015 гг. (с учетом продления срока службы)

1 июля 2014г. - завершен переход всего парка локомотивов ОАО «РЖД» на полное сервисное обслуживание.

В рамках перехода локомотивного парка ОАО «РЖД» на полное сервисное обслуживание, определенного решениями Координационного совета начальников железных дорог (пункт 3 раздела III протокола от 18 октября 2013 г. № КСН-4/пр), по результатам проведения аукционов заключены два дого-

вора на полное сервисное обслуживание локомотивного парка ОАО «РЖД»: от 30 апреля 2014 года № 284 с ООО «СТМ-Сервис» и №285 с ООО «ТМХ-Сервис» [61, 165].

Несмотря на то, что система ремонта и обслуживания изменилась, по-прежнему остается много старых локомотивов. Кроме этого новых локомотивов поступает недостаточно. Обновление парка идет не очень интенсивно. В силу своего возраста старые локомотивы более подвержены отказам, в том числе и неплановым отказам.

Такое положение складывается по причине недостаточных навыков и умений персонала, обслуживающего тепловозы, выполняющего их ремонт, отсутствия современного ремонтного и диагностического оборудования.

Увеличение простоев в ремонте объясняется старением локомотивов и разделением локомотивного хозяйства на ремонт и эксплуатацию. В эксплуатации не отслеживают пробег локомотивов (см. рисунок 1.2).

Таким образом, старение тепловозного парка и вместе с этим не достаточно активное его обновление приводят к увеличению времени простоя на плановых видах ремонта, а также к росту числа неплановых ремонтов.

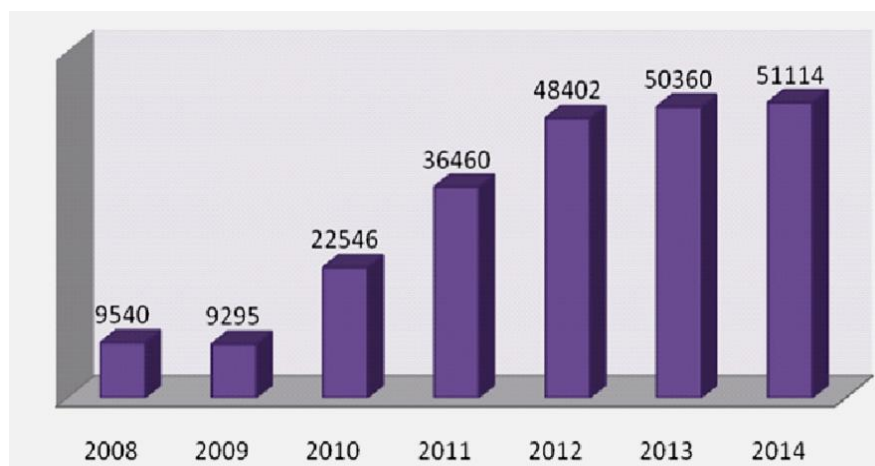
1.2 Анализ причин отказов основных узлов и агрегатов тепловозных дизелей

Исправное состояние тепловозов характеризуется тем, что оно соответствует всем требованиям, изложенным в нормативно-технических документах, и установленным параметрам, обеспечивающим нормальное выполнение заданных функций. Несоблюдение этих условий свидетельствует о неисправности локомотива [125].

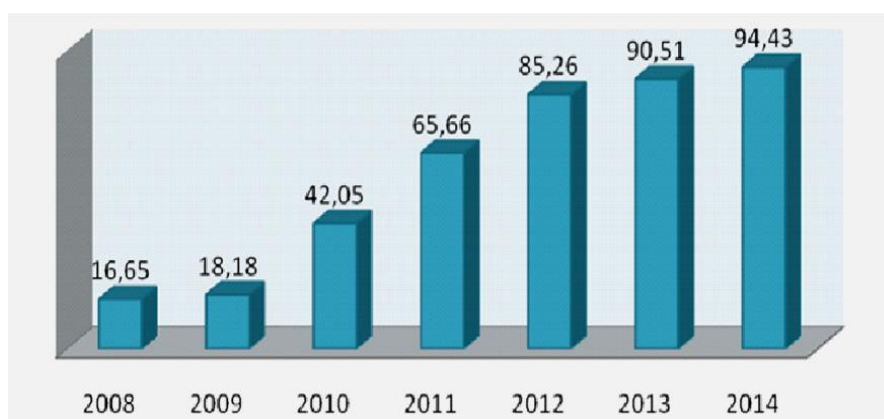
В локомотивном хозяйстве отказом является неисправность локомотива (его сборочных единиц и деталей), заключающаяся в нарушении его работоспособности, вследствие чего требуется восстановление или замена сборочных единиц и деталей, или регулировка их характеристик в период между плановыми видами технического обслуживания и ремонта или

на них, если это восстановление (замена, регулировка) не входят в объем обязательных работ и если необходимое для их выполнения время или трудоемкость превышает нормы, установленные для данного вида ремонта локомотивов.

а)



б)



в)

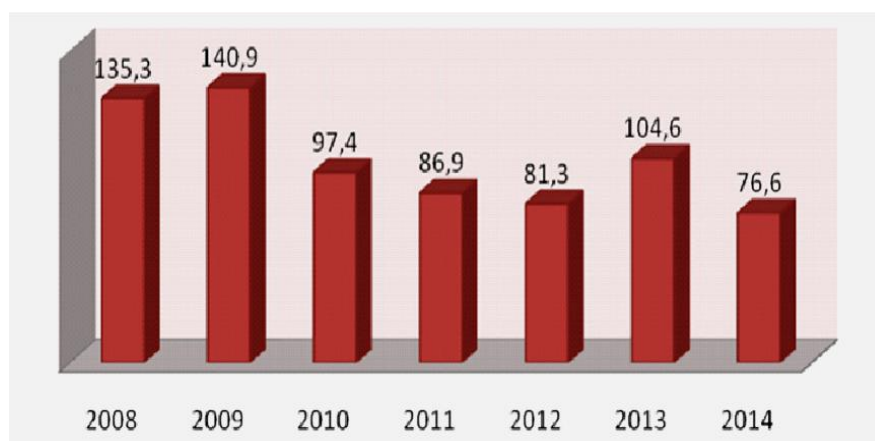


Рисунок 1.2 – Основные показатели unplanned ремонтов тепловозов за период с 2008 по 2014 года:

а - количество unplanned ремонтов; б- количество unplanned ремонтов на 1 млн. км; в-средний простой на unplanned ремонте

Количество unplanned repairs and failures in the running is a main indicator, by which the reliability and quality of the maintenance of steam locomotives, as well as the effectiveness of the work of repair enterprises, is evaluated. With the help of diagnostics, it is possible to predict failures in the running and in advance determine the need for the repair of steam locomotives in accordance with their actual condition. Today, non-destructive methods of control and diagnostics are becoming more relevant and form the basis of modern monitoring and diagnosis systems of diesel engines.

Improvement of the effectiveness and reliability of the work of diesel engines of steam locomotives in operation is related to the reduction of fuel consumption, reduction of the number of failures and unplanned repairs. Improvement of methods and means of control and diagnosis of steam locomotives and their power units as in the case of maintenance and repair, as well as in operation, is an important and relevant task [5, 21, 23, 27, 35, 38, 45, 56, 86, 115, 131, 135, 137, 154, 160, 178].

Failures and malfunctions of steam locomotives in the running can occur due to the personnel engaged in operation (17,6 %), due to the repair personnel of the depot (66,7 %), due to the repair shops and manufacturers (15,7 %) [25].

In figure 1.3 as an example, the distribution of cases of unplanned repairs of steam locomotives, related to the damage of the parts and systems of the diesel engine, is given on average for the network. From the figure, it is seen that the largest number of damages occurs in the parts of the cooling system, the cylinder-piston group and the parts of the gas-air system. The analysis of statistical data shows that the unplanned repairs of steam locomotives on average constitute 40 % of the total number of repairs. In this number, the parts of the fuel system constitute 15 %, the cylinder-piston group 30 % on average for the network. The intensity of failures of the parts of the fuel system is due to the failures of the injectors and the cylinders,

поршневой группы приходится на отказы поршней, цилиндрических втулок и крышек цилиндра.

В то же время в эксплуатации находится большое количество тепловозов с неисправностями, которые можно отнести к «скрытым» отказам (или частным отказам): пережог топлива, низкая эффективная мощность, неравномерность распределения мощности по цилиндрам. Как правило, это связано с ухудшением технического состояния топливной аппаратуры, механизма газораспределения, цилиндропоршневой группы, а также элементов газоздушного тракта дизеля и т.д.

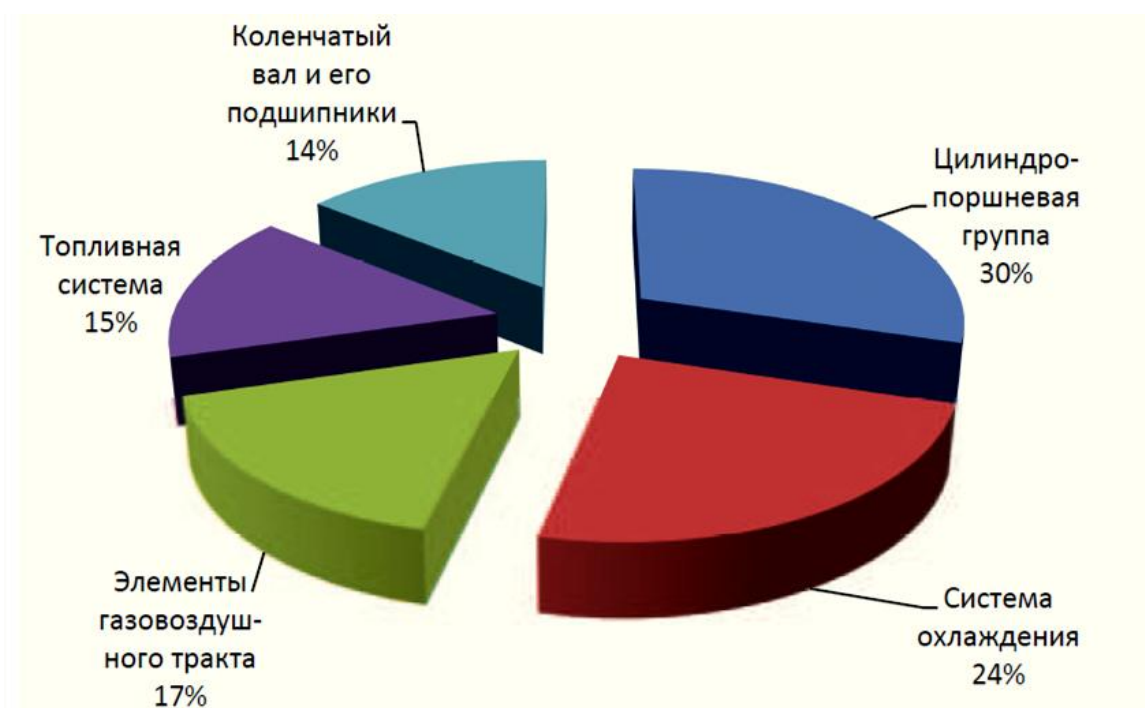


Рисунок 1.3 - Распределение процента неисправностей по узлам и систем дизеля

Состояние дизеля оказывает значительное влияние на эксплуатационные расходы топлива. Как показывает практика, улучшение качества работы элементов топливной аппаратуры, механизма газораспределения и цилиндропоршневой группы позволяет снизить удельный расход топлива на 2-4 % [21, 20, 23, 26, 27, 35, 38, 178]. К числу основных причин, ухудшающих надежность и экономичность работы дизеля в эксплуатации, относится неравномерность распределение нагрузки по цилиндрам, разрегулировки фаз топливоподачи и газораспределения, ухудшение технического состояния топлив-

ной аппаратуры, механизма газораспределения [170] и цилиндропоршневой группы [7, 54, 118], наличие большого количества отложений в газоздушном тракте и закоксованность лопаток турбины [136].

Большой вклад в исследование проблем повышения эффективности и эксплуатационной надежности транспортных силовых установок внесли специалисты ВНИКТИ, ЦНИДИ, ВНИИЖТ, НИИТКД, МИИТа, ПГУПСа, ОмГУПСа, СамГУПСа, РГУПСа, ДВГУПСа, ОНМУ, МГАУ и др. В частности этим вопросам посвящены работы таких ученых как: А.Э. Симсон, А.З. Хомич, Н.А. Фуфрянский, А.И. Володин, Д.Я. Носырев, Э.А. Пахомов, Ю.Е. Просвиров, Э.Д. Тартаковский, В.А. Четвергов, В.С. Наговицын, Е.Е. Коссов, Р.К. Гизатуллин, Р.А. Варбанец, В.Г. Ивановский, В.А. Чечет, А.Ю. Коньков, С.А. Пальтов, А.С. Кулешов, А.А. Обозов, Е.А. Никитин, Э.А. Улановский, В.Д. Карминский, С.В. Камкин и многие другие [31, 39, 41, 42, 65, 73, 75, 81, 82, 108, 111, 112, 114, 121, 122, 128, 139, 156, 155, 166, 167, 170-172].

Количество неплановых ремонтов и отказов в пути следования является основным показателем, по которому оценивается надежность и качество содержания тепловозов, поэтому ниже приведен анализ главных узлов, таких как форсунка, турбокомпрессор, выхлопная система, привод клапанов дизеля, газораспределительный механизм, поршневая группа и цилиндрические втулки [48-50, 132, 150].

В данной главе на гистограммах показан анализ выходов из строя (нарушение режимов эксплуатации, предотказное состояние, потеря работоспособности и т.д.) основного механического оборудования дизелей основных эксплуатирующихся тепловозов Д49 (1А-5Д49, 2А-5Д49, 2-2Д49, 21-26ДГ, 3А-6Д49), Д50 (ПД1М, ПД4М), 10Д100, Д45 (14Д40), К6S310DR.

Среди рассмотренного оборудования имеется: форсунка, турбокомпрессор, выпускной коллектор, газораспределительный механизм дизеля, поршневая группа, привод клапанов и цилиндрические втулки дизеля.

Анализ проведен по данным ООО «ТМХ – Сервис» по сети дорог за период 2014-2016 годы по следующим параметрам:

- по видам ремонта (НР, ТО-2,ТО-3,ТР-1,ТР-2);
- по неисправностям деталей, например для форсунки, была рассмотрена следующие детали: сопловой наконечник форсунки топливной системы, распылитель форсунки топливной системы, игла распылителя форсунки топливной системы, корпус форсунки топливной системы, пружина форсунки топливной систем;
- по категории инцидента (нарушение режимов эксплуатации, предотказное состояние, потеря работоспособности частичная потеря работоспособности и т.д.);
- по причинам неисправностей:
 - производственные - некачественное техническое обслуживание на ПТОЛ, в депо, на заводе: изготовление, сборка, регулировка, монтаж, тестирование, прочее;
 - эксплуатационные - нарушение порядка запуска и прогрева дизеля локомотива: остановка дизеля без прокачки масла, остановка дизеля при превышенной температуре теплоносителей, превышение допустимого времени работы дизеля на холостом ходу, работа дизеля под нагрузкой при превышенной температуре теплоносителей, быстрый набор позиций контроллера, запуск дизеля при заниженной температуре теплоносителей (вода, масло), набор позиций контроллера машиниста без выдержки времени, перевод под нагрузку без прогрева, работа дизеля под нагрузкой при заниженной температуре теплоносителей, запуск дизеля без прокачки масла, запуск дизеля на период менее 30 минут, невыдержка времени работы дизеля на ОПКМ после работы ДГУ под нагрузкой, нештатный пуск ДГУ, повторный запуск дизеля через малый интервал времени, нарушение периодичности постановки на ремонт (перепробег): ТО-2у, ТО-3, ТР-2, ТР-3, КР, СР, прочее;
 - деградационные - старение оборудования быстрее установленного периода, прочее.

Среди производственных неисправностей наибольшее количество приходится на топливную аппаратуру (77,7 %) и механизм газораспределения (42,6 %).

Распределение основных причин неисправностей (см. рисунок 1.4) показывает, что значительную долю производственных составляют неисправности, связанные с плохим качеством ремонта и технического обслуживания ТА и МГР в депо (71 % и 31,1 % соответственно).

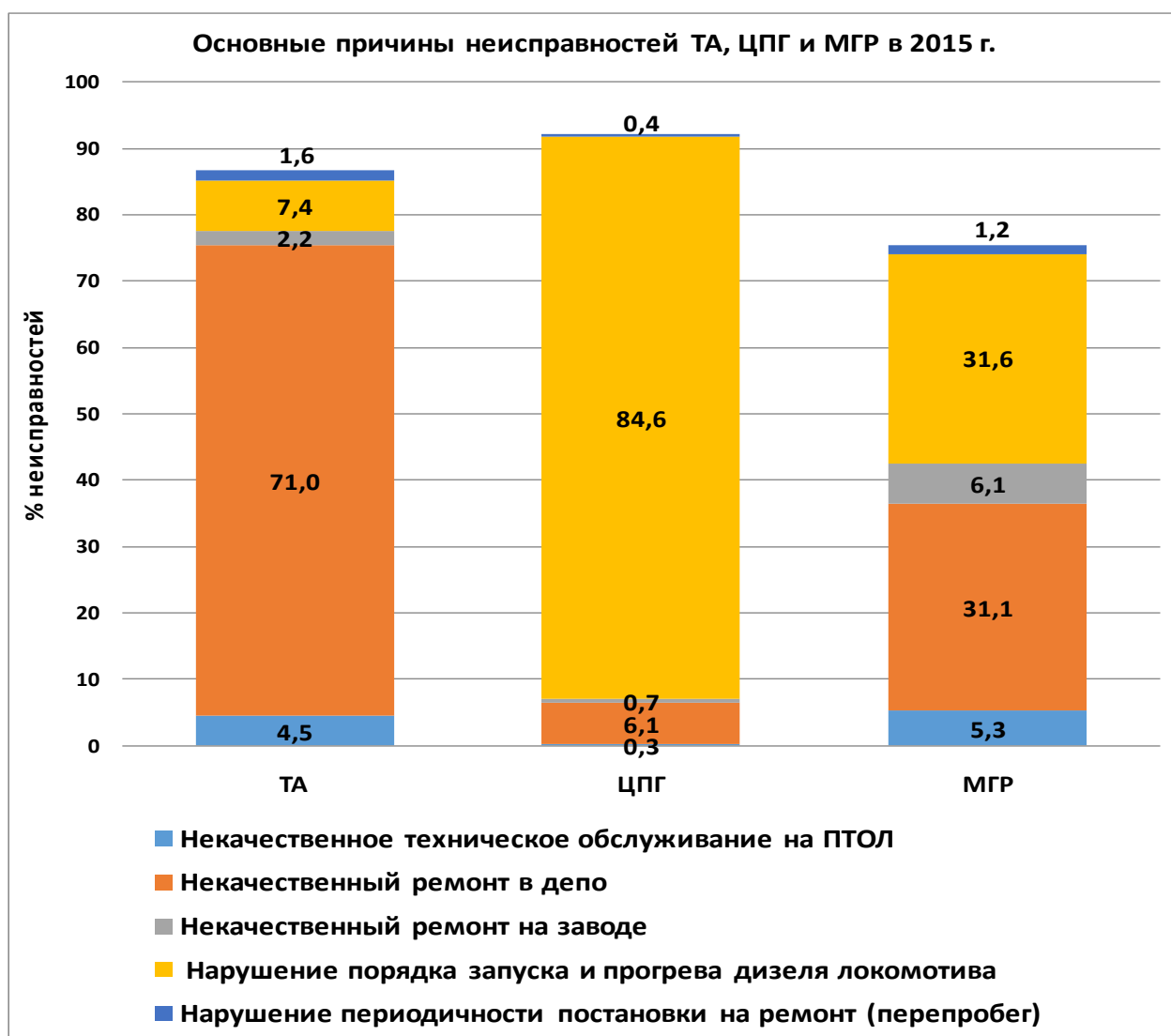


Рисунок 1.4 - Распределение основных причин неисправностей

Основные эксплуатационные неисправности ЦПГ и МГР (84,6 % и 31,6 %) приходятся на нарушение режимов эксплуатации дизелей тепловозов.

Таким образом, проведенный анализ представленных данных об основных отказах силовых установок тепловозов наглядно иллюстрирует средне-

статистические данные. Работа тепловозов с таким техническим состоянием ТА, ЦПГ и МГР тепловозных дизелей приводит к существенным потерям в эксплуатации, связанным с перерасходом топлива, увеличением времени простоя в ремонте, перерасходу запасных частей и затратам на проведение ремонта тепловозов.

Обнаружение представленных неисправностей и их причин возможно в широком диапазоне межремонтных периодов эксплуатации тепловозов. Однако по ряду причин (недостаточное внимание к техническому состоянию силовой установки, нарушение технологии эксплуатации и обслуживания, перепробеги, отсутствие или недостаточно эффективное использование средств контроля и диагностики) на сегодняшний день тепловозы работают с неудовлетворительными показателями на линии.

Избежать этого можно, используя методы и средства, позволяющие проводить диагностический контроль технического состояния в ходе технического обслуживания (ТО-3) или на периодических текущих ремонтах (ТР-1).

Таким образом, своевременное проведение мониторинга технического состояния силовых установок тепловозов без установки на пункт реостатных испытаний (т.е. без применения стационарных средств диагностирования) может выявить на ранней стадии неисправности ТА, ЦПГ и МГР и принять меры по их устранению, тем самым довести до нормального технического состояние тепловозных дизелей в эксплуатации [12, 13].

1.3 Тепловозный дизель как объект диагностирования

В технической диагностике множество входных и выходных сигналов объекта диагностирования принято называть «основными диагностическими параметрами» (сигналами), т.к. их использование при диагностировании обязательно и достаточно для оценки работоспособности и определения технического состояния. Внутренние состояния представляют собой совокупность дополнительных диагностических параметров и используются для локализации отказа и прогнозирования работоспособности тепловоза.

Основные и часто возникающие причины неисправности топливной аппаратуры высокого давления тепловозных дизелей можно свести к следующим:

- несвоевременное и неквалифицированное техническое обслуживание;
- нарушение режимов эксплуатации дизеля;
- использование топлива низкого качества и нарушения в работе фильтров;
- естественный износ трущихся прецизионных пар.

Если учесть общеизвестный факт, что наибольший процент отказов тепловозных дизелей приходится на топливную аппаратуру (до 70 %), то становится очевидным, что в общем объеме издержек основную часть составляют топливная аппаратура. При нормальной эксплуатации обычно соблюдаются все основные нормативно-технические требования и правила выполнения ТО и ТР. С другой стороны, реальная эксплуатация зачастую характеризуется условиями, когда и отдельные агрегаты, и двигатель в целом эксплуатируются до частичной потери работоспособности без проведения достаточных профилактических мероприятий [76].

Так, по статистическим данным, в условиях реальной эксплуатации по сравнению с нормальной число отказов наименее надежных составных частей топливной аппаратуры дизеля может увеличиться по следующим, явно выраженным признакам:

- закоксовывание распылителя форсунки, нарушение подвижности иглы, понижение давления впрыска (в 5-9 раз);
- разрегулировка ТНВД, износ плунжерных пар и нагнетательных клапанов (в 6-7 раз).

Расчеты, выполненные специалистами МИИТа (даже по заниженным оценкам) показывают, что по отмеченным выше причинам, дизель магистрального тепловоза в современных условиях эксплуатации за год перерасходует в среднем 14-26 тонн топлива и увеличивает выброс в атмосферу вредных компонентов: СО — на 300-650 кг, СН — на 120-350 кг. При этом от-

клонение энерго-экономических параметров (мощность и топливная экономичность) от номинальных значений составляет 8-15 % и более. Это означает, что в условиях реальной эксплуатации тепловозов будет расходовать топлива на 10-18 % больше, что подтверждается на практике.

Опыт эксплуатации тепловозных дизелей показывает, что на детали ЦПГ, которые подвержены наибольшим механическим нагрузкам, приходятся наибольшие трудозатраты при обслуживании. В результате износа ЦПГ падает мощность дизеля, увеличивается расход топлива и смазочных материалов, возрастает в несколько раз количество вредных выбросов в окружающую среду [53, 79, 166].

С учетом вероятности отказов, полученным по результатам анализа неплановых ремонтов, для тепловозных дизелей, прежде всего, актуальна информация о техническом состоянии ЦПГ и ТА.

Таким образом, будет выгоднее проводить сложный вид технического обслуживания или мелкий ремонт.

Оригинальным образом с учетом тех параметров, которые получают механическими способами диагностирования, можно определить техническое состояние основных элементов ЦПГ, ТА и МГР по параметрам диаграммы рабочего процесса дизеля.

Конечным результатом такой оценки технического состояния является стратегия технического сервиса по состоянию, т.е. по результатам диагностирования.

Проведенные исследования показали, что по результатам оперативного диагностирования топливной аппаратуры возможно снижение реальных потерь на 20-25 % и увеличение срока службы тепловозного дизеля до следующего ремонта на те же 20-25 %. Такая экспресс-диагностика технического состояния топливной аппаратуры, выполняемая в межремонтный период, позволит своевременно обнаружить неисправности, например, единичной форсунки многоцилиндрового дизеля. Последующая замена или регулировка форсунки (раскоксовка распылителя, притирка, регулировка давления впры-

ска) позволит сэкономить 50-75 кг топлива в расчете до очередного ТО или ТР [10, 27, 33, 40].

Таким образом, объединив механические методы диагностики и методы параметрического диагностирования рабочего процесса дизеля можно получить подробную информацию о техническом состоянии форсунок и ТНВД, ЦПГ и МГР дизеля тепловоза [103, 149, 161].

Основными результатами такой оценки технического состояния будут:

1. Оценка технического состояния дизеля тепловоза и выдача рекомендаций по принятию решений о дальнейшем проведении ТО и ТР.
2. Экономия от расходов прогрессирующих издержек на топливо-смазывающие материалы, ТО и ТР.
3. Предупреждение серьезных отказов силовой установки тепловоза

К основным энергетическим параметрам работы дизеля относятся: удельный эффективный расход топлива g_e ; средний эксплуатационный расход топлива G_T ; средний эффективный расход масла g_M ; качество рабочего процесса (РП); равномерность распределения мощности между цилиндрами дизеля ($\Delta P_{\text{цил}}$); параметры работы СУ и систем автоматики (СА).

На экологические параметры работы дизеля влияют следующие основные показатели: качество рабочего процесса (РП); техническое состояние топливной аппаратуры, механизма газораспределения и системы воздухообеспечения (СВ); равномерность распределения мощности между цилиндрами дизеля ($\Delta P_{\text{цил}}$).

Таким образом, обобщая все вышесказанное, основные группы параметров работы и их составляющие можно представить в виде блок-схемы (см. рисунок 1.5) [37, 40, 104, 105, 148].

Исходя из вышесказанного, при разработке новых методов и средств оценки технического состояния дизелей тепловозов необходимо решить основные задачи:

1. В результате анализа составляющих трех групп диагностических показателей ТС дизеля можно выявить наиболее информативные из них. Далее

необходимо приоритет по информативности и универсальности для выбранных параметров.

- На этом этапе необходимо выделить эти параметры из всех и расставить их по важности для заострения внимания, а также обосновать, почему именно эти параметры и почему именно для тепловозных дизелей.

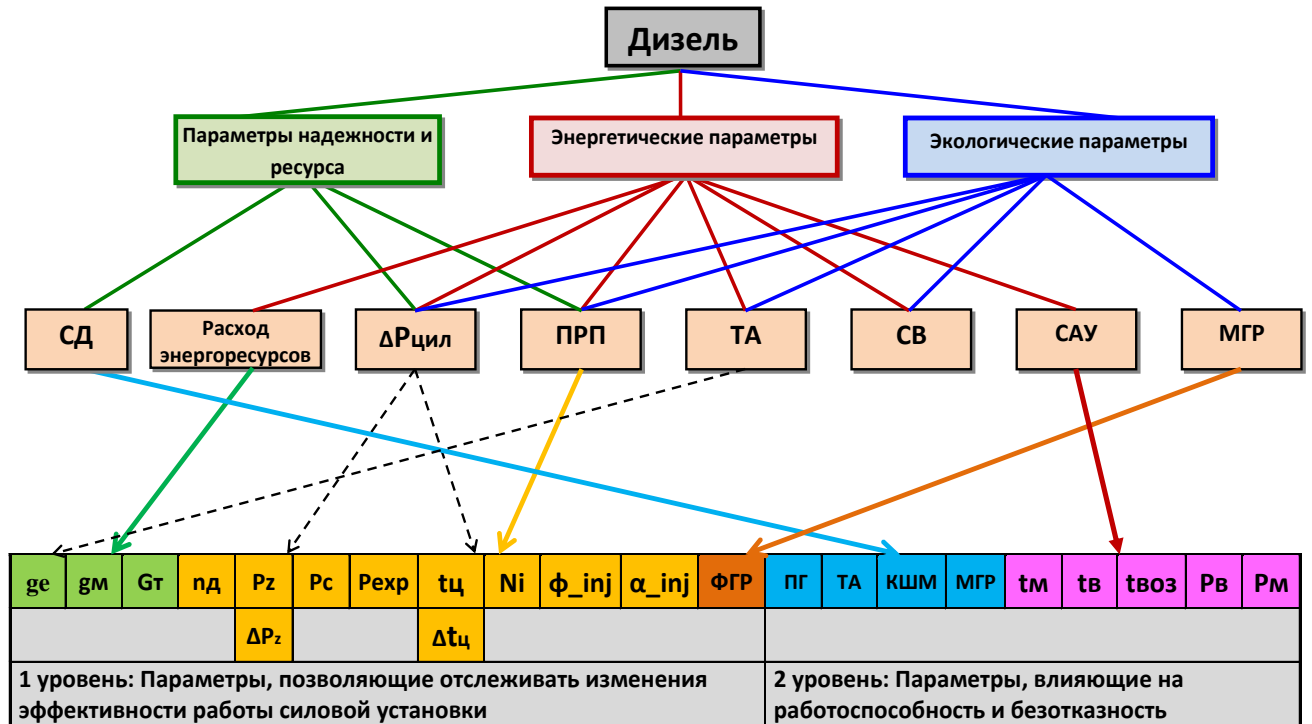


Рисунок 1.5 – Основные параметры работы дизеля тепловоза и их показатели

- Для того чтобы получить значения, выделенных в пункте 2 параметров непосредственно с дизеля необходимы средства диагностики и контроля. В идеале надо иметь одну универсальную и простую систему для получения всех выделенных в пункте 2 параметров.
- В процессе работы локомотива происходит естественное изменение трех основных показателей – надежности и ресурса, энергетических и экологических. Важным является момент определения, на какой точке графика изменения технического состояния находится в данный момент тепловозный дизель – для этого нужны аппаратные средства.
- Говоря о сохранении надежности и ресурса мы имеем ввиду обязательное обеспечение безотказной эффективной работы на как можно более

длительном участке времени в эксплуатации без перерывов на плановые или вынужденные остановки и изъятия из эксплуатации для проверок, регулировок, дольше чем на ТО-3.

Внедрение технического диагностирования на тепловозах является не только технической, но и экономической проблемой. Согласно статистическим данным за 30-40 лет службы тепловоза затраты на техническое обслуживание, ремонт и модернизацию в 6-7 раз превышают первоначальную стоимость локомотива.

Методика диагностирования должна обеспечивать обнаружение развития отказа на более ранней стадии, давать возможность быстро и точно определять техническое состояние локомотива и безошибочно указать отказавший элемент.

Одним из аргументов недостаточно широкого использования в локомотивных депо систем мониторинга ДВС являлась их сложность и высокая стоимость. Кроме того, стационарные системы предусматривают контроль параметров рабочего процесса дизелей только на территории пункта реостатной диагностики. Использование систем оперативного мониторинга дизеля тепловоза в межремонтный период в настоящее время не производится из-за, во-первых, отсутствия соответствующих приборов и оборудования, во-вторых, нерентабельности выполнения трудоемких процессов. Обучение работе со стационарными системами требует длительного времени.

1.4 Обзор работ, посвященных направлению исследования

Важность использования показателя величины температуры отработавших газов как диагностического параметра вытекает из теории рабочих процессов ДВС, а также подтверждается целым рядом работ.

В работе [31] разработана концепция и реализован метод разделения функций диагностического контроля рабочего процесса на две составляющие: информационную (с предварительной обработкой и расчетом данных) и аналитическую.

Большое внимание в работе Варбанца Р.А. уделено регулированию равномерности распределения нагрузки по цилиндрам дизеля. В качестве основных критериев используются максимальное давление сгорания P_{max} , среднее индикаторное давление MIP , цикловая индикаторная мощность N_i , получаемые портативной системой диагностического контроля DEPAS, и температурой отработавших газов на выходе из цилиндров T_{exh} , которую получают по данным штатных датчиков температуры (термопар), установленных на дизеле, или в составе систем диагностики.

В работе [29] предложен метод оценки технического состояния топливной аппаратуры дизеля, основанный на результатах измерения относительного изменения температуры отработавших газов и суммарного коэффициента избытка воздуха.

Показано наличие статистической зависимости между температурой отработавших газов и коэффициентом избытка воздуха дизеля, которая может быть использована для интегральной оценки технического состояния цилиндров дизеля.

Параметр температуры отработавших газов используется в работе [38] как диагностический для оценки технического состояния форсунок дизелей. Величина температуры отработавших в работе получается по результатам математического моделирования с использованием метода И.И. Вибе.

В работе [65] в качестве основных диагностических параметров, обладающих наибольшей информативностью, приняты параметры рабочего процесса – среднее индикаторное давление P_i , максимальное давление сгорания P_z , максимальное давление сжатия P_c , среднеинтегральное давление конца сжатия, максимальная жесткость процесса сгорания, а также характеристики процесса сгорания.

Метод параметрической диагностики, предлагаемый в данной работе, дополнен механизмом принятия решений на основе метода малых отклонений относительных величин основных параметров рабочего процесса.

В работе [113] используются регрессионные зависимости, описывающие связь таких важнейших контрольных и диагностических параметров дизеля как, давление конца процесса сжатия P_c ; разность максимального давления сгорания и давления сжатия $P_z - P_c$; угол поворота коленчатого вала, соответствующий максимальному давлению сгорания φ_{Pz} ; угол поворота коленчатого вала, соответствующий максимальной температуре сгорания $\varphi_{T_{max}}$; температура отработавших газов $T_{ог}$ на выходе из цилиндра с такими факторами как, цикловая подача топлива $g_{ц}$; угол опережения подачи топлива $\alpha_{оп}$; угол опережения верхнего коленчатого вала нижним; закоксованность выпускных окон.

Предложен алгоритм мониторинга теплового состояния наружной поверхности цилиндрической втулки при появлении слоя накипи, основанный на сравнении измеренных величин $T_{ог}$ в выпускном коллекторе и подогревом охлаждающей жидкости на установившемся режиме $\Delta T_{ж}$ с градиентом нарастания температуры охлаждающей жидкости $dT_{ж}/dt$ в режиме термосифонного охлаждения и вычисленным соотношением $(dT_{ж}/dt)/\Delta T_{ж}$.

В работе [28] разработан аналитический метод оценки технического состояния цилиндров дизеля с использованием результатов натуральных измерений.

Температура отработавших газов $T_{ог}$ используется для расчета и оценки показателя тепловыделения в цилиндрах дизеля.

Рассмотрены аппаратные способы оценки тепловыделения. В качестве основных датчиков измерительных комплексов используются датчики давления, температуры газов и частоты вращения коленчатого вала дизеля.

В работе [174] рассматривается влияние содержания компонентов отработавших газов на величину их температуры на выходе из дизеля $T_{ог}$. Также рассматривается влияние коэффициента избытка воздуха α_{Σ} и $T_{ог}$ на величину удельного эффективного расхода топлива g_e .

В данной работе, как и во многих других работах, посвященных измерению состава газов, не приводятся данные о трудозатратах на проведения процесса измерения.

Газовый анализ как метод оперативного диагностирования в данной тематике не рассматривается т.к. это достаточно медленный и трудоемкий процесс. На сегодняшний день газовый анализ неудобен как метод оперативного диагностирования или уступает по оперативности методу косвенных измерений, рассматриваемому в диссертационной работе.

В работе [1] величина $T_{ог}$, получаемая датчиками температуры, входящими в состав бортовой системы управления и диагностики МСУ-ТП тепловозов типа ТЭ10МК и ТЭ116У, используется в алгоритмических защитах от опасных режимов эксплуатации.

Влияние неисправностей топливной и системы воздухообеспечения малооборотного судового дизеля на изменение основных теплотехнических параметров его работы (P_{max} – максимальное давление сгорания, P_{comp} – давление сжатия, P_{exp} – давление на линии расширения в точке 36° п.к.в. после ВМТ, P_i – среднее индикаторное давление, P_s – давление воздуха в продувочном ресивере, T_{exh} – температура отработавших газов и др.) показано в работе [121].

Предложен алгоритм принятия решения о техническом состоянии судового дизеля на основе полученных результатов от портативных электронных систем индицирования.

В работе [115] величина температуры отработавших газов используется при разработке нового подхода к алгоритмизации средств технического диагностирования на основе статистической теории распознавания образов для создания эталонных диагностических характеристик и построения алгоритмов диагностирования неисправностей малооборотных дизелей.

Таким образом, по анализу представленных работ можно заключить следующее:

1. Температура отработавших газов, как диагностический показатель, является значимым для контроля технического состояния цилиндров дизеля по параметрам рабочего процесса.

2. Измерение величины температуры отработавших газов в рассмотренных работах проводится штатными датчиками температуры (термопары), установленными на дизеле или входящими в состав систем диагностики.

3. Не в одной из представленных работ не рассматриваются затраты труда и времени на проведение диагностики. Это можно объяснить тем, что рассмотренные способы применяются в стационарных условиях (пунктах РИ тепловозов, ходовой режим работы главных двигателей судна) и перед ними не ставится задача выполнить диагностику без вывода из эксплуатации.

В данной диссертационной работе, в отличие от всех рассмотренных, впервые учтена трудоемкость и продолжительность процесса диагностирования.

1.5 Выводы по главе

1. Анализ основных причин неплановых ремонтов тепловозов показал, что значительная доля (30 %) случаев приходится на ДГУ.

Из общего количества отказов дизель-генераторных установок и их вспомогательных систем достаточную долю составляют отказы ТА (до 10 %), ЦПГ (12 %) и МГР (2-4 %).

Распределение выявленных неисправностей по видам ТО и ТР показало, что основное количество приходится на неплановый ремонт и техническое обслуживание при эксплуатации в объемах ТО-2 и ТО-3, а также не крупные виды периодического ремонта – ТР-1.

Основные типы неисправностей ТА, ЦПГ и МГР и их причин составляют эксплуатационные и производственные связанные с нарушением правил эксплуатации, технологии обслуживания и ремонта силовых установок тепловозов.

2. При существующей системе планово-предупредительного ремонта диагностика и оценка технического состояния силовых установок тепловозов проводится после плановых крупных видах ремонта ТР-2 и ТР-3, а также при регламентных реостатных испытаниях после unplanned ремонта.

3. На основании проведенного анализа основных проблем технического состояния ДГУ можно заключить, что значительная доля отказов и неисправностей выявляется в межремонтные периоды.

4. В связи с достаточной сложностью и трудоемкостью проведения диагностического контроля с помощью стационарных систем, а также с ограниченным временем проведения ТО и ТР тепловозов в условиях разделения локомотивного хозяйства на ремонт и эксплуатацию, применением системы сервисного обслуживания ООО «ТМХ-Сервис», диагностирование технического состояния дизелей тепловозов проводится недостаточно эффективно и, в ряде случаев, не периодически.

В то же время данные эксплуатации ДВС свидетельствуют о том, что повышение эффективности их работы может быть достигнуто путем мониторинга технического состояния локомотива в процессе его эксплуатации и принятием необходимых мер по поддержанию технического состояния основных элементов дизеля на высоком уровне [43, 47, 67, 120, 134, 165].

5. Таким образом, одним из направлений решения данного вопроса является разработка методов и средств, позволяющих проводить оценку технического состояния ТА, ЦПГ и МГР при прохождении ТО и ТР в условиях эксплуатации (при отклонениях основных параметров работы ДГУ еще не приведших к ухудшению эксплуатационных показателей, требующему принятию определенных мер), а также дополнить результаты мониторинга бортовыми системами контроля и диагностики [90-92, 95].

1.6 Цель и задачи исследования

Как показал анализ исследований, основными причинами ухудшения эксплуатационных показателей дизелей являются отклонения параметров рабочего цикла от оптимальных значений вследствие изменения в эксплуатации параметров топливоподачи, воздухообеспечения, зазоров в цилиндропоршневой группе (ЦПГ) и других механизмах и системах двигателя, а также режимов и условий эксплуатации.

Задача достоверной оценки качества рабочего процесса в цилиндрах тепловозного дизеля и технического состояния определяющих его узлов топливной аппаратуры и цилиндропоршневой группы в настоящее время, является актуальной темой, которая решается в основном стационарными средствами диагностики, чаще всего на основании анализа индикаторной диаграммы рабочего процесса. Использование такого подхода для непрерывного контроля технического состояния тепловозного дизеля в эксплуатации невозможно по ряду причин, одной из которых является отсутствие технической возможности непрерывного измерения давления в цилиндре дизеля, которое необходимо для снятия индикаторной диаграммы.

В связи с этим, актуальной является задача разработки методов интегральной оценки качества рабочего процесса в цилиндре тепловозного дизеля с использованием ограниченного набора параметров, контролируемых современными средствами автоматического управления силовой установки тепловоза.

Исходя из полученных результатов **целью диссертационной работы** является повышение эксплуатационной надежности тепловозов за счет совершенствования контроля технического состояния дизелей методами и средствами оперативной диагностики.

Для достижения поставленной цели необходимо **решить следующие задачи:**

1. Выполнить анализ существующих методов и средств контроля и диагностирования дизелей тепловозов, позволяющих оценивать их техническое состояние средствами стационарной диагностики.

2. Сформулировать принципы проведения оперативной диагностики параметров рабочего процесса, учитывающих специфику эксплуатации дизелей тепловозов.

3. Разработать методику проведения оперативного диагностического контроля технического состояния топливной аппаратуры, механизма газораспределения и цилиндропоршневой группы. Сконструировать переносной диагностический комплекс, применительно для тепловозных дизелей, позволяющий реализовать предложенную методику оперативного контроля.

4. Установить взаимосвязь между диагностическими параметрами контроля рабочего процесса дизеля и параметрами надежности ресурса, экологическими и экономическими характеристиками работы дизеля, позволяющими определить его техническое состояние как в межремонтные периоды эксплуатации, так и при проведении плановых видов технического обслуживания и ремонта (ТО и ТР).

5. Провести оценку эффективности предложенного метода оперативного диагностического контроля параметров рабочего процесса дизеля и надежности работы узлов топливной аппаратуры, механизма газораспределения и цилиндропоршневой группы.

2 КРАТКИЙ ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ТЕПЛОВОЗНЫХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК

Разработка и создание методов и средств диагностирования транспортных дизелей является актуальной задачей и активно решается широким кругом специалистов для тепловозных, судовых и автотракторных дизелей [4, 5, 21, 26, 27, 35, 38, 56, 63, 67, 87, 107, 115, 130, 148, 153, 157, 176].

На сегодняшний день известно свыше 50-ти различных диагностических систем и комплексов контроля транспортных силовых установок в т.ч. тепловозных, судовых, автотранспортных [58]. В данном разделе работы на основе структуры и функциональных возможностей рассмотренных диагностических средств выбраны классификационные критерии и проведена классификация, на основе которой определен типаж и сформулированы требования к системе оперативной диагностики.

Рассматривались следующие характеристики диагностических систем: Тип системы; Производитель; Основные типы используемых датчиков; Назначение системы (в т.ч. область применения).

Измеряемые параметры: механически (11 параметров), рабочего процесса (14 параметров), топливной аппаратуры (4 параметра), МГР (2 параметра), ЦПГ (3 параметра), ТК (4 параметра), вспомогательного оборудования (11 параметров), нагрузки (5 параметров):

Частота вращения КВ дизеля n_d , ПКМ (% загрузки дизеля), Эффективная мощность на валу дизеля N_e , Максимальное давление сгорания P_z , Максимальное давление сжатия P_c , Давление начала сгорания P_c' , Давление на линии расширения P_{exr} , Среднее индикаторное давление MIP , Индикаторная мощность N_i , Среднее цикловое давление P_t , Степень повышения давления λ , Скорость нарастания давления V_m , Температура уходящих газов по цилиндрам t_c , Угол опережения подачи топлива $\alpha_{оп}$, Угол продолжительности подачи топлива φ , Угол задержки самовоспламенения топлива τ , Высота подъема иглы форсунки, Темп подъема и посадки иглы форсунки, Фазы газораспре-

деления, Обороты ротора турбокомпрессора птк, Время выбега ротора турбокомпрессора, Давление уходящих газов на входе в турбину ТК Рт', Температура уходящих газов на входе в турбину ТК Тт', Давление воздуха на входе в компрессор ТК Рк', Температура воздуха на входе в компрессор ТК Тк', Давление воздуха перед ТНВ Рк", Температура воздуха перед ТНВ Тк", Давление наддува воздуха Ps, Температура наддувочного воздуха Ts, Температура воды на выходе из дизеля tw", Температура масла на выходе из дизеля tm", Давление масла Рм, Давление топлива Ртоп, Температура топлива, Давления начала впрыска форсунки Рн.впр., Гидроплотность форсунки, Качество распыла топлива форсункой, Давление полного вакуума ЦПГ, Давление остаточного вакуума ЦПГ, Ток тягового генератора Itг, Напряжение тягового генератора Utг, Мощность тягового генератора Ptг, Часовой расход топлива Вч, Общий расход топлива G, Удельный эффективный расход топлива ge, Текущая плотность топлива, Объем топлива, Масса топлива, Снятие индикаторной диаграммы работы цилиндра, Снятие вибродиаграммы работы форсунки, Снятие вибродиаграммы работы клапанов газораспределения, Наличие датчика оборотов КВ и ВМТ, Определение ВМТ автоматически, Контроль виброхарактеристик работы подшипниковых узлов КШМ и других в контрольных точках, Наличие датчика давления топлива, Наличие датчика выхода рейки ТНВД, Наличие датчика выхода хода иглы форсунки, Наличие вибродатчика(ов), Отображение и оценка баланса мощности по цилиндрам.

Функциональные возможности: устройство системы (4 параметра), выполняемые функции (7 параметров).

Существует множество разнообразных по назначению, стоимости, конструкции и принципу действия технических средств, предназначенных для контроля технического состояния как силовой установки тепловоза в целом, так и отдельных ее агрегатов. Анализ структуры и функциональных возможностей современных средств и систем диагностики показал, что все рассмотренные системы условно можно разделить на три большие группы (см. рисунок 2.1). Кроме того, детальный анализ систем, входящих в основные

группы позволил выделить дополнительные подгруппы. Далее подробно рассмотрены основные группы систем диагностики силовых установок тепловозов.

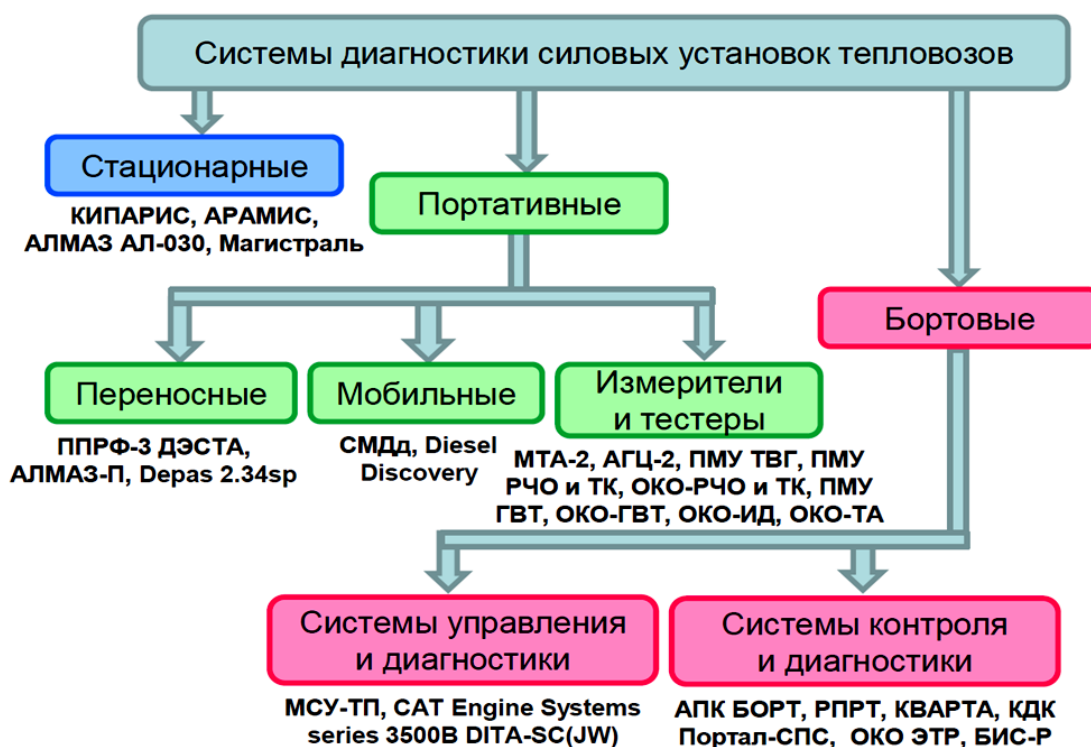


Рисунок 2.1 - Системы диагностики силовых установок

2.1 Классификация существующих систем технической диагностики дизелей тепловозов

2.1.1 Стационарные системы

Стационарные системы являются оптимальным решением для мониторинга оборудования или в том случае, когда доступ к оборудованию затруднен или мониторинг оборудования связан с риском для персонала. Стационарные системы позволяют персоналу техобслуживания фокусироваться на диагностике и устранению неисправностей оборудования, а не тратить время на сбор данных о состоянии оборудования.

Большинство стационарных систем диагностики силовых установок тепловозов спроектировано как единый программно-аппаратный комплекс, производящий запись параметров и частичный расчет основных диагностических показателей в режиме реального времени. В системах подобного типа

объединены две задачи: получение данных в реальном времени и частичный расчет рабочего процесса [31].

Современные системы такого типа имеют от 10 до 30 датчиков, длину соединительных кабелей около 30 м, вес комплекта примерно 50-80 кг и позволяют контролировать до 50 параметров.

На основе анализа структуры и функциональных возможностей стационарных систем была разработана принципиальная схема устройства систем стационарного типа, указанная на рисунке 2.2.

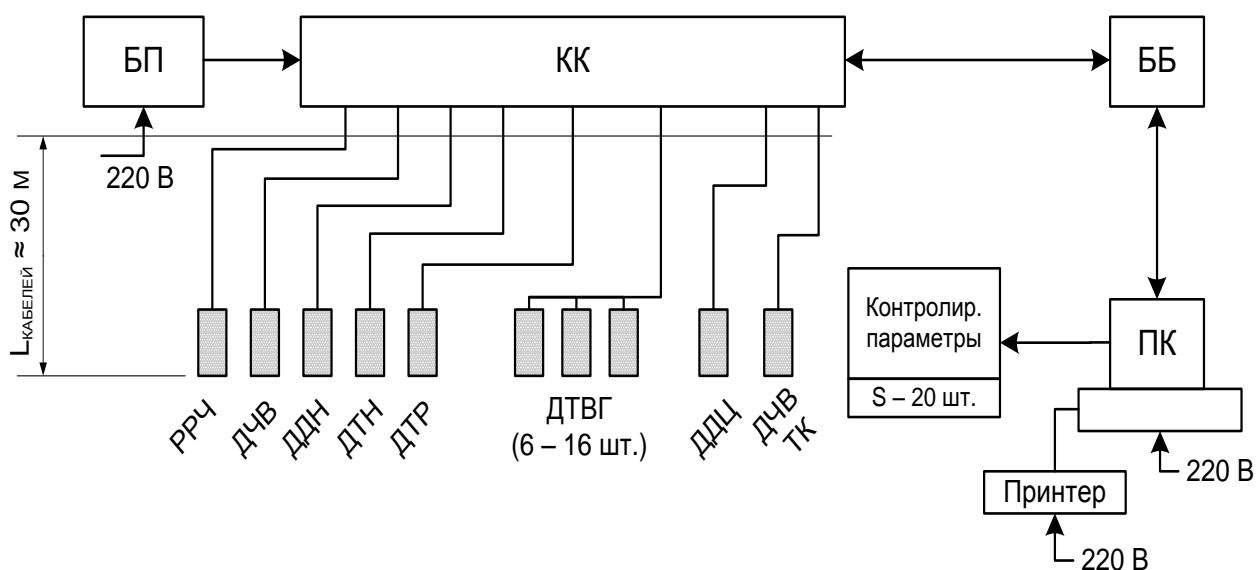


Рисунок 2.2 - Стационарные системы:

ПК - персональный компьютер со специализированным программным обеспечением; ББ - базовый блок, получает измерительные сигналы от КК по единому каналу и передает на ПК; КК - коммутационная коробка, получает сигналы от основных датчиков и объединяет их в единый канал; БП - блок питания, обеспечивает питание измерительных каналов датчиков в КК; РРИ - розетка реостатных испытаний, подключается к разъему реостатных испытаний тепловоза; ДЧВ - датчик частоты вращения; ДТН - датчик температуры надувочного воздуха; ДДН - датчик давления надувочного воздуха; ДТР - датчик выхода рейки ТНВД; ДЧ ВТК - датчик частоты вращения ротора турбокомпрессора; ДТВГ - датчик температуры выпускных газов цилиндров дизеля.

На сегодняшний день в локомотивном хозяйстве ОАО «РЖД» применяются системы КИПАРИС (НИИТКД, Россия), АРАМИС (НПО «ОМИКС»), АЛМАЗ АЛ-030 (ЗАО «Локомотив», Россия), КДН Магистраль (ООО «Техтранс-Д», Россия) [2, 59, 70, 143].

Автоматизированные комплексы контроля и диагностирования технического состояния дизель-генераторной установки КИПАРИС и АРАМИС предназначены для производства в полном объеме (в соответствии с правилами ТО и ТР) реостатных испытаний маневровых и магистральных тепловозов в автоматизированном режиме с управлением нагрузочным реостатом и тепловозом, и стендовых нагрузочных испытаний в условиях локомотивных депо и ремонтных заводов.

Позволяют реализовать функции:

- автоматической постановки диагноза и выдача рекомендаций по настройке системы автоматического регулирования мощности ДГУ, систем и агрегатов дизеля (распределение нагрузки по цилиндрам, газовоздушного тракта, топливной аппаратура, РЧО, системы охлаждения).

- ведения архива по результатам испытаний всех локомотивов парка депо.

- оперативного доступа к базе данных архива испытаний посредством сети ИНТЕРНЕТ/ИНТРАНЕТ в любой момент времени.

Автоматизированная система для испытаний дизель-генераторных установок АЛМАЗ имеет распределенную архитектуру и совмещает в себе функции мощного стационарного комплекса, мобильность и гибкость переносного, возможность поблочного использования и наращивания.

Программное обеспечение позволяет настроить систему на любой тип дизельного двигателя или дизель-генераторной установки.

Система обеспечивает:

- индикацию измеряемых параметров на дисплее компьютера, как в реальном времени на цифровых индикаторах, так и в виде диаграмм, гистограмм и таблиц
- диагностику состояния основных узлов и агрегатов ДГУ
- ведение электронного архива, поиск, просмотр, анализ и печать результатов испытаний

Универсальный комплекс автоматической диагностики тепловозов КНД Магистраль предназначен для: диагностирования тепловозного дизель-генератора по частоте вращения коленчатого вала дизеля и ее стабильности на любой позиции контроллера машиниста; диагностирования технического состояния (ТС) топливной аппаратуры и правильности протекания рабочего процесса дизеля; диагностирования (ТС) газоздушного тракта (ГВТ) тепловозного дизеля по давлениям, перепадам давлений и температурам в выбранных участках тракта; контроля настройки селективной и внешней характеристики тепловозной дизель-генераторной установки; контроля параметров электрической схемы тепловоза от выведенных на розетку реостатных испытаний тепловоза (параметры системы автоматического регулирования (САР) возбуждения главного генератора тепловоза; контроля настройки срабатывания реле переходов на ослабленное поле по токам их включения и выключения.

Для диагностирования судовых энергетических установок наиболее характерными системами такого типа являются AutronicaNK-100, NK-200 (Kongsberg Maritime AS, Норвегия); ДМ-1000с, ДМ-2000, Ритм-Дизель М, СДД-5 (Россия); On-Line Doctor System (Icon Research Ltd, Великобритания), KiBox (Kistler Group, Швейцария), Кума Diesel Analyser (Кума a.s., Норвегия), РМІ System Off-line (MAN B&W Diesel, Германия), ДИ-7 (Diesel Intellect International, США), IMES ССМ, ССМ-Gas (Imes GmbH, Германия) [140-142, 144, 179, 181, 184, 186, 187,191].

2.1.2 Портативные системы диагностирования

В состав переносных систем входят:

- базовый блок, включающий в себя компьютер промышленного исполнения со специализированным программным обеспечением и энергонезависимой памятью, дисплей, панель управления, блок питания от внешней сети, блок собственных элементов питания для автономной работы, защитный корпус или кейс;

- набор датчиков для измерения основных контролируемых параметров;
- соединительные кабели.

Системы такого типа имеют от 3 до 5 датчиков, длину соединительных кабелей порядка 10 м, вес комплекта 10-15 кг и позволяют контролировать от 5 до 20 параметров.

На основе анализа структуры и функциональных возможностей портативных систем была разработана принципиальная схема устройства систем портативного типа, указанная на рисунке 2.3.

В состав таких систем входят портативный прибор, обеспечивающий измерение и анализ основных диагностируемых параметров, компьютер с программой мониторинга, содержащей базу данных и выполняющий ряд операций анализа сигналов и обработки результатов, а также экспертная или автоматическая программа диагностики, обрабатывающая полученную диагностическую информацию.

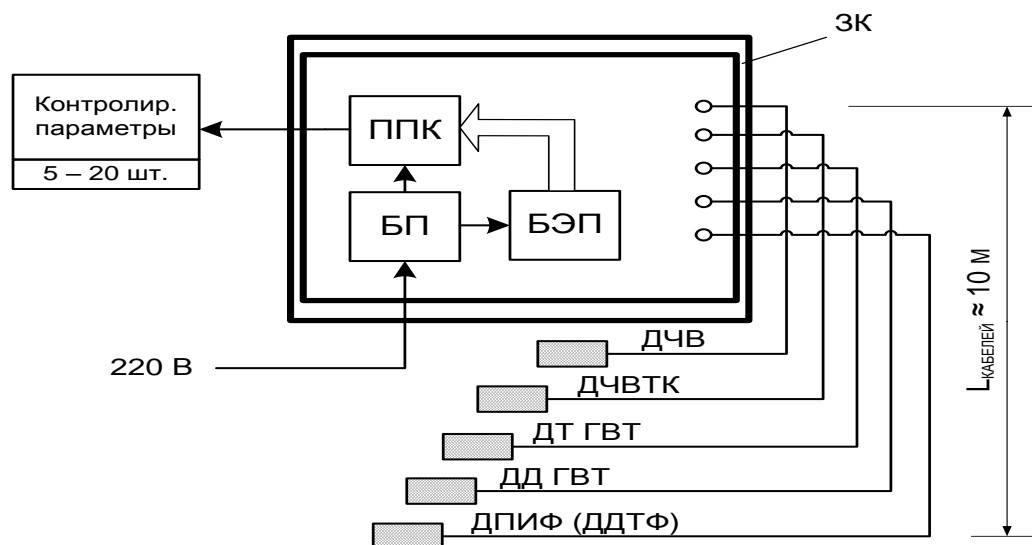


Рисунок 2.3 - Портативные системы:

ЗК - защитный корпус; ППК - переносной промышленный компьютер; БЭП - блок элементов питания; ДТ ГВТ - датчик температуры в газозолевом тракте; ДД ГВТ - датчик давления в газозолевом тракте; ДЧВ - датчик частоты вращения; ДПИФ (ДДТФ) - датчик положения иглы форсунки (датчик давления топлива форсунке).

На сегодняшний день в локомотивном хозяйстве ОАО «РЖД» применяется переносная система ППРФ-3 «ДЭСТА» (НИИТКД, Россия), а также

АЛМАЗ-П - переносной вариант стационарного комплекса АЛМАЗ (ЗАО «Локомотив», Россия) [123, 143].

Переносное устройство диагностирования топливной аппаратуры дизелей ППРФ-3 «ДЭСТА» предназначено для контроля технического состояния и диагностики дизельных двигателей и дизель-генераторных установок.

Система «ДЭСТА» позволяет проводить:

- контроль фазово-амплитудных характеристик впрыска топлива;
- контроль температур выпускных газов по цилиндрам дизеля и давления наддува;
- контроль частоты вращения турбокомпрессора и измерение времени выбега ТК;
- контроль работы регулятора частоты вращения дизеля и проверку срабатывания предельного регулятора;
- процесс диагностирования в режиме осциллографа и цифрового тахометра.

Комплекс АЛМАЗ-П. Переносной вариант, предназначен для периодических измерений основных параметров ДГУ. Измерительные блоки располагаются в непосредственной близости с ДГУ. Используется переносной компьютер, располагаемый в кабине или в моторном отсеке. Датчики устанавливаются перед проведением испытаний и снимаются после их завершения.

Для диагностирования судовых энергетических установок наиболее характерными системами такого типа являются СДД-4 (Россия), Дизель-Адмирал 2Х, 3Х (ООО НПК «Гарант», Россия), Depas 2.34sp (DepasLab., Украина), Doctor Portable DK-2 (Icon Research Ltd, Великобритания), IMES CCM, CCM-Gas Portable (Imes GmbH, Германия) [69, 141, 179-181].

2.1.3 Мобильные системы

По способу получения и обработки диагностической информации мобильные системы относятся к типу систем разделенного мониторинга Основ-

ной идеей разделенного мониторинга ДВС является разбиение системы на два функциональных модуля:

- модуль получения данных и предварительного расчета параметров в режиме реального времени (МРВ) – аппаратная часть системы;
- модуль расчета и анализа рабочего процесса не в режиме реального времени (РМ) – внешнее программное обеспечение.

Передача данных между модулями осуществляется по последовательному интерфейсу USB или RS-232.

Задачей модуля является получение данных от датчиков, установленных на двигателе, предварительный расчет и отображение на внутренний экран основных контролируемых параметров.

Расчетный модуль выполняет последовательное решение задач синхронизации данных, поступающих от МРВ и, затем, расчета и анализа диагностических показателей.

В состав аппаратной части мобильных систем разделенного мониторинга входит компактный измерительный модуль на базе микроконтроллера, имеющего собственную энергонезависимую память, органы управления, элементы питания, указательного дисплея, электронных датчиков (до 3-х шт.) и соединительных проводов небольшой длины (не более 1,5 м).

Программная часть систем разделенного мониторинга представляет собой внешнее программное обеспечение, построенное на базе современных математических моделей и работающее под управлением ОС Windows.

Такие системы позволяют контролировать от 10 до 20, а в некоторых случаях и более различных параметров.

На основе анализа структуры и функциональных возможностей мобильных систем была разработана принципиальная схема устройства систем мобильного типа, указанная на рисунке 2.4.

В подгруппу мобильных портативных систем диагностирования входят системы СМДд (Россия), Diesel Discovery (Digital Engineering Technology,

Украина), Дизель-Адмирал 1Х (ООО НПК «Гарант», Россия), ELPI (Akrit Engineering, Россия) [8, 9, 11, 60, 69, 180, 182].

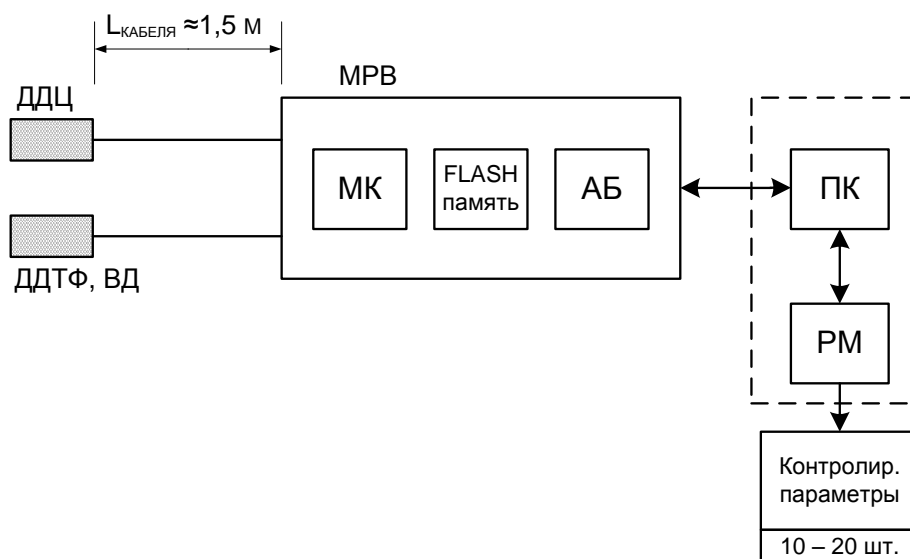


Рисунок 2.4 - Мобильные системы:

МК - микроконтроллер; АБ - аккумуляторная батарея; ПК - персональный компьютер; РМ - расчетный модуль, внешнее программное обеспечение устанавливаемое на ПК; MPB - модуль реального времени; ДДЦ - датчик давления в цилиндрах; ДДТФ - датчик давления топливной форсунки; ВД - вибродатчик.

Система мониторинга дизельных двигателей была создана на базе системы DEPAS, созданной в лаборатории «Мониторинга судовых ДВС» кафедры «Судовые энергетические установки и техническая эксплуатация» Одесского национального морского университета (ОНМУ), руководитель профессор Варбанец Р.А., предназначалась для испытаний и оценки технического состояния судовых дизелей. Позже специалистами кафедры «Электропоезда и локомотивы» МИИТа система была успешно адаптирована для тепловозных силовых установок и получила название Система мониторинга дизельных двигателей (СМДд).

Система мониторинга СМДд предназначена для получения максимально полной информации об эффективности работы дизеля и состоянии его топливной аппаратуры и механизма газораспределения.

В стандартный состав комплекса входит: переносной блок сбора данных; вибродатчик VS-20; датчик давления PS-16; программное обеспечение и документация.

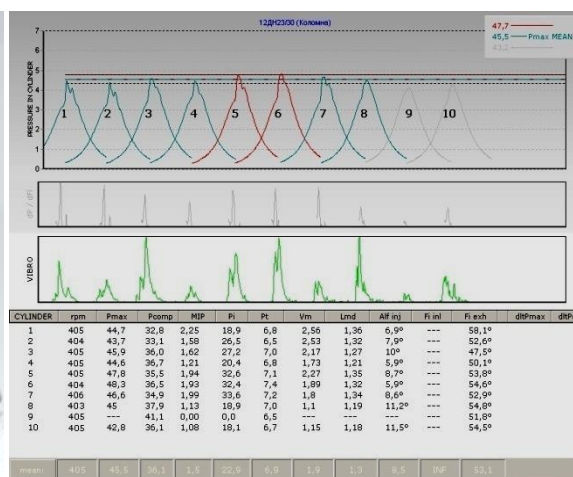
Система СМДд может быть использована на любых дизельных энергетических установках, в том числе на локомотивах, самоходном подвижном составе и стационарных установках (см. таблицу 2.1, рисунок 2.5).

Таблица 2.1 - Основные технические характеристики системы СМДд

Аналого-цифровой преобразователь	Датчик давления PS-16	Вибродатчик VS-20
Контрастный дисплей RS – 232 интерфейс Время автономной работы – 10 часов Габариты: 130 × 80 × 40 мм Вес: ≈ 0,5 кг Питание: 6VDC (4 × А1)	Диапазон измерения: 0 – 16 МПа Макс. погрешность: ≤ 1,5 % Макс. рабочая температура: 350 °С Интервал калибровки: 3 года Вес: 1 кг. Устанавливается на стандартный индикаторный кран, W27×1/10	Диапазон измерения: 0,1 ÷ 18 kHz Полоса пропускания: 1,0 kHz Максимальная рабочая температура: 90 °С Датчик имеет магнитную основу



а) модуль реального времени



б) расчетный модуль

Рисунок 2.5 – Система мониторинга дизельных двигателей СМДд

Система мониторинга позволяет определить:

- параметры индикаторной диаграммы;
- параметры топливоподачи;
- фазы газораспределения.
- вибродиаграммы работы форсунки и клапанов;
- температуру выпускных газов по цилиндрам;
- разброс мощности по цилиндрам.

Анализ вибродиаграмм топливной аппаратуры и механизма газораспределения вместе с индикаторной диаграммой рабочего процесса значительно расширяет область наблюдаемых параметров. Диагностика технического состояния рабочего цилиндра выполняется не только по диаграмме давления газов, как это до сих пор принято в большинстве аналогичных компьютерных систем, но и по важнейшим процессам топливоподачи и газораспределения.

Система выполнена в прочном корпусе, датчик давления на армированном кабеле вынесен на удобное расстояние. Система управляется одной кнопкой с четкой фиксацией. Общий вес системы с датчиками менее 2 кг. Емкости стандартных батарей (4xAA) хватает приблизительно на 10 часов работы.

Комплекс обладает:

- высокой мобильностью;
- простотой в эксплуатации;
- невысокой стоимостью;
- возможностью применения широким кругом специалистов;
- ограниченным объемом информации в момент диагностирования;
- полный расчет рабочего процесса и отчет производится на внешнем компьютере.

Среди систем такого класса для судовых дизелей известны такие системы, как Malin 6000 (Malin Instruments Ltd, Великобритания), Premet (XL, XX, XC) (Lemag, Германия), Kuma Diesel Analyser (KumaAS, Норвегия), E5000 Engine Eye (SELCO ApS, Дания), IMES EPM-XP, EPM-Peak, EPM-XG, IMES Compri (Imes GmbH, Германия), HLV2005МК, HLV 4.0МК, Engine Peak Meter Type 2516В, Peak Pressure Gage PPG Type 250E (Kistler Group, Швейцария), DPI Digital Pressure Indicator, DPI-2 Digital Pressure Indicator (Friedrich Leutert GmbH & Co, Германия) [179, 183, 187-190, 192].

2.1.4 Измерители и тестеры

Измерители и тестеры спроектированы в виде портативных устройств, позволяющих определять ограниченное количество параметров (как правило, от 1 до 5) и имеют узкоспециализированную направленность.

По устройству все существующие приборы такого типа условно можно разделить на две группы:

- Механические – имеют приспособление для присоединения к месту измерения, в некоторых случаях устройство для подачи тестового воздействия, а также измерительный прибор механического типа, например манометр (см. рисунок 2.6).

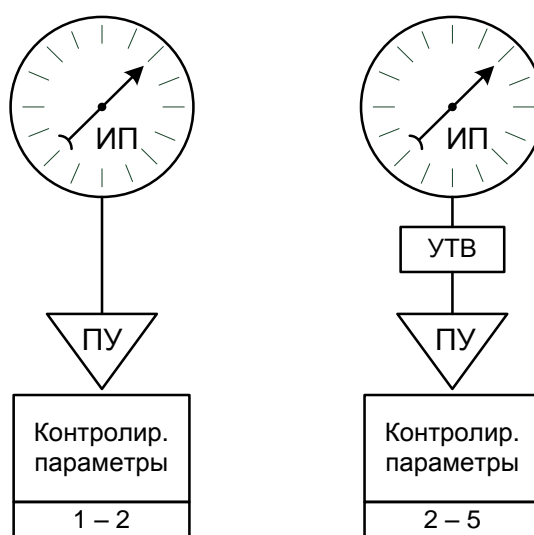


Рисунок 2.6 - Измерители и тестеры механические:

ИП - измерительный прибор; ПУ - присоединительное устройство; УТВ - устройство подачи тестового воздействия.

- Электронные – выполнены в виде компактного измерительного модуля на базе микроконтроллера, имеющего собственную энергонезависимую память и элементы питания, указательного дисплея, электронных датчиков (до 3-х шт.) и соединительных проводов небольшой длины (не более 1,5 м) (см. рисунок 2.7).

Измерители и тестеры позволяют получать все необходимые данные работы оборудования для дальнейшего анализа и определения причин нарушения его работы. Современные тестеры обеспечивают высокую точность измерений, позволяя записывать результаты нескольких сотен измерений. Пре-

дусмотрена возможность подключения тестеров к принтеру для печати на бумажный носитель и компьютеру с целью передачи данных.

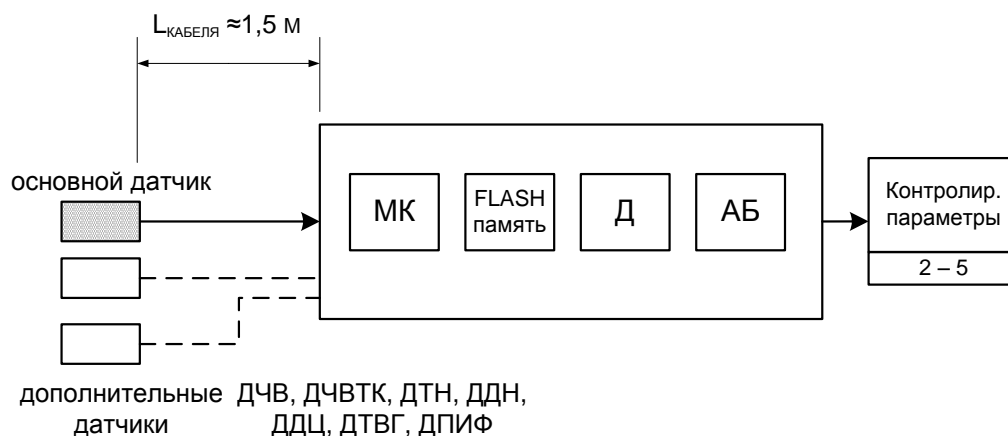


Рисунок 2.7 - Измерители электронные:

МК - микроконтроллер; Д - дисплей; АБ – аккумуляторная батарея; ДЧВ - датчик частоты вращения коленчатого вала дизеля; ДЧВТК – датчик частоты вращения ротора турбокомпрессора; ДТН - датчик температуры надувочного воздуха; ДДН - датчик давления надувочного воздуха; ДПИФ - датчик положения иглы форсунки; ДДЦ- датчик давления в цилиндрах.

Среди существующих измерителей и тестеров для диагностирования силовых установок тепловозов применяются: АГЦ-2, МГА-2 (МГАУ им. В.П. Горячкина, Россия); ПМУ ГВТ, ПМУ ТВГ, ПМУ РЧО и ТК (НИИТКД, Россия); ОКО ТА, ОКО ИД, ОКО РЧО и ТК, ОКО ГВТ (НПО «ОМИКС», Россия) [62, 129, 163].

На сегодняшний день в локомотивном хозяйстве применяются многочисленные измерители и тестеры производства НИИТКД, НПО «ОМИКС» и других производителей.

2.1.5 Бортовые системы

Бортовые системы предназначены для регистрации и отображения эксплуатационных параметров работы тепловоза, а также для проведения диагностики основных систем и узлов силовой установки, вспомогательного оборудования, силовых цепей и цепей управления (см. рисунок 2.8).

Бортовые системы могут контролировать как основные параметры работы отдельных узлов и агрегатов, так и основные параметры работы тепловоза в целом.

В состав бортовых систем входят датчики различного типа; кабельные трассы; измерительные блоки; модули концентрации; собственный блок питания; центральный бортовой компьютер, производящий обработку и накопление данных; дисплей на пульте машиниста, который отображает основные контролируемые параметры, а также сигнализацию при их отклонении от нормальных значений и при возникновении неисправностей.

Также в состав некоторых системы входит модуль беспроводной связи, который непрерывно направляет информацию о текущем состоянии тепловоза в дорожные информационные центры. Кроме того, цепи бортовых систем интегрируются с основными цепями тепловоза.

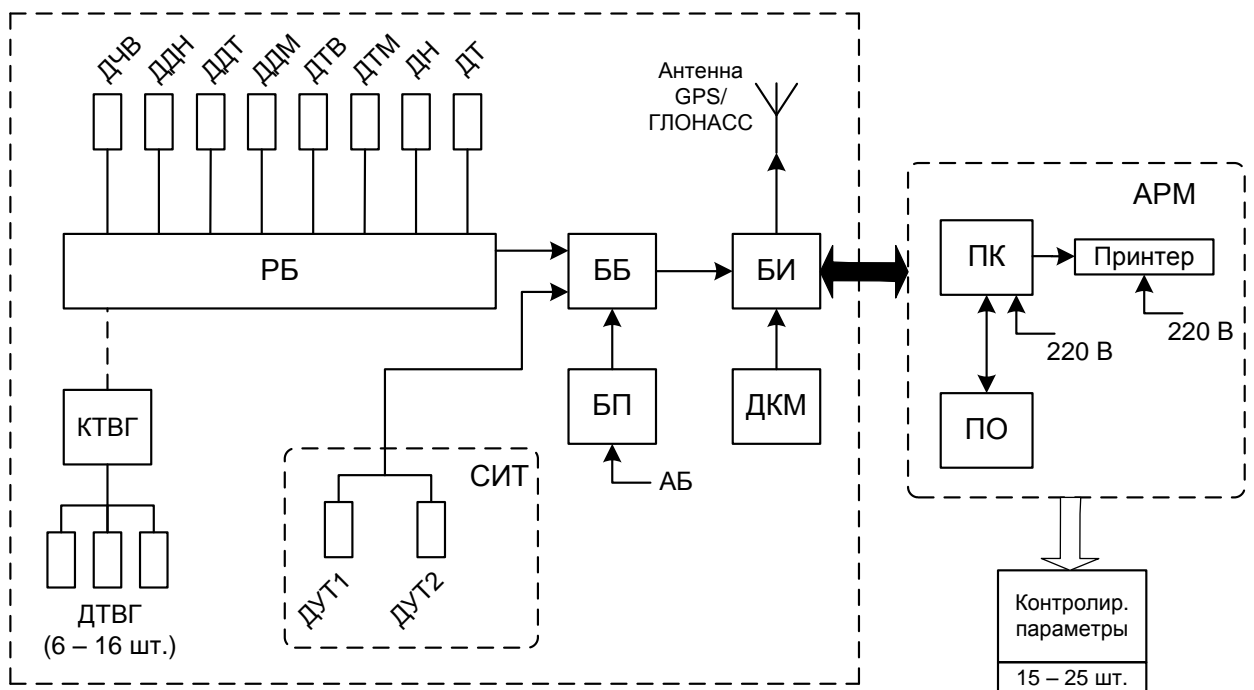


Рисунок 2.8 – Бортовые системы контроля и диагностики:

АРМ – автоматизированное рабочее место; КБ – кросс блок; БИ – блок индикаторный; ББ – базовый блок, получает измерительные сигналы; БП – блок питания; ДКМ – датчик контроллера машиниста; СИТ – система измерения топлива; ДУТ(1,2) – датчик уровня топлива; РБ – распределительный блок; ДН – датчик напряжения; ДТ – датчик тока; КТВГ – контроллер температуры выпускных газов, регистрирует t° выпускных газов; ДЧВ – датчик частоты вращения; ДДН – датчик давления надувочного воздуха; ДДТ – датчик давления топлива; ДДМ – датчик давления масла в цилиндрах.

В состав бортовых систем входит внешнее программное обеспечение – автоматизированное рабочее место (АРМ), предназначенное для обработки и архивирования накопленной диагностической информации.

Современные бортовые системы устанавливаются как на вновь построенных тепловозах, так и на существующие тепловозы на этапе модернизации.

К существующим бортовым системам контроля и диагностики, применяемых на отечественных тепловозах относятся: АПК БОРТ (НИИТКД, Россия), УСАВП-Т, РПРТ (АВП Технология, Россия), КВАРТА (ОАО «Электромеханика», Россия), КДК ПОРТАЛ-СПС (СКБ «Маяк», Россия), ОКО ЭТР (НПО «ОМИКС, Россия), БИС-Р (ЧП «Резерв-1», Украина); УСТА (ВНИКТИ, Россия) [6, 64, 68, 72, 133, 145, 163, 164].

Аппаратно-программный комплекс (АПК) «БОРТ» представляет собой микропроцессорный комплекс, устанавливаемый на тепловозе с комплектом датчиков состояния дизель-генераторной установки и системой передачи данных в локальную компьютерную сеть депо.

АПК БОРТ предназначен для диагностирования и управления теплотехническим состоянием дизель-генераторных установок (ДГУ) тепловозов серий ТЭМ1, ТЭМ2, ТЭМ3, ТЭМ18, ЧМЭЗ, 2ТЭ10, 2ТЭ116, ТЭП70 и специального подвижного состава.

Регистратор параметров работы тепловоза РПРТ - автоматизированная система учета, контроля и анализа расхода дизельного топлива тепловозами. Регистратор предназначен для установки на маневровые тепловозы ЧМЭЗ. Однако он может применяться на всех тепловозах с доработкой документации по установке на конкретной серии и программного обеспечения по расшифровке регистрируемых параметров.

Регистратор РПРТ позволяет решить задачи автоматического измерения и регистрации параметров топлива и работы тепловоза, расчета расхода топлива, необходимого для выполнения фактической работы, сравнения фактического и расчетного значений расхода топлива для выполнения одной и той же работы за смену.

АРМ РПРТ осуществляет учет и анализ работы тепловоза и дизель-генератора, расхода топлива за смену, расчет потребного расхода топлива на выполненную работу. Результаты обработки зарегистрированных данных АРМ РПРТ представляет в виде таблиц интегральных показателей за смену работы тепловоза.

Из аналогичных систем, применяемых на судах речного и морского флота известны такие системы как: СУА «Волна» (ЗАО «ПФК Тверьпромавтоматика», Россия); КДК «Портал-Дон-02» (СКБ «Маяк», Россия); DFM (DepasLab., Украина); fleetECO (Digital Engineering Technology, Украина); SENTRY GBW-200, Cylinder liner monitoring system, Bearing Wear Condition Monitoring system, Water in Oil sensor (Kongsberg Maritime AS, Норвегия); PREMETonline, AMOT XTS-W (Lemag, Германия); Kuma Shaft Power Meter (Kuma AS, Норвегия) [30, 71, 85, 146, 184, 185, 187, 189].

2.2 Сравнительный анализ систем диагностики тепловозных дизелей

Критерии оценки существующих средств и систем диагностики силовых установок тепловозов включают:

1. Продолжительность проведения диагностирования

- возможность выполнения диагностирования в эксплуатации за время прохождения ТО-1 или ТО-2;

- выполнение диагностирования за время, лимитированное условиями эксплуатации – при прохождении ТО-3;

2. Система диагностики не должна требовать специфических воздействий на тепловоз, таких как:

- нагружение на реостат;

- диагностирование можно делать средствами, находящимися на самом тепловозе;

- дополнительные подготовительные работы по приведению состояния основных узлов и агрегатов тепловоза, к каким либо нормированным условиям (прогрев дизеля);

3. Номенклатура диагностических параметров

Система диагностики должна обеспечивать снятие наиболее важных параметров работы дизеля:

- индикаторная диаграмма и параметры рабочего процесса;
- фазы топливоподачи и параметры работы топливной аппаратуры высокого давления;
- фазы газораспределения и параметры работы механизма газораспределения;
- параметры работы цилиндропоршневой группы;
- обороты коленчатого вала дизеля;

4. Массогабаритные показатели, отвечающие требованию портативности. Небольшие размеры и вес.

5. Стоимость оборудования заведомо обеспечивающая положительный экономический эффект от проведения диагностических мероприятий (ценовой диапазон 400-800 тыс. руб.)

Сравнительный анализ существующих систем, применяемых для диагностики тепловозных дизелей приведен в таблице 2.2.

В приведенных таблицах приняты следующие обозначения: (+) – функция имеется, (–) – функция отсутствует, (+/–) – функция реализована частично.

Данные, представленные в таблице 2.2, показывают выявленные типичные функциональные возможности диагностических систем каждого класса, позволяющие формулировать технические требования к новым системам.

2.3 Перспективы оперативной диагностики тепловозных дизелей

Термин «оперативная диагностика» впервые встречен в 2003 г. в работе Е.А. Гребенюк [52], подробно (строго) сформулирован в 2008 г. в работе Г.Ф.

Гордукаловой [46]: ОПЕРАТИВНАЯ ДИАГНОСТИКА - экспресс-анализ состояния объекта в определенный момент его развития. Может реализовываться в любой хронологической точке, но ориентирован, как правило, на оценку современного состояния объекта, сравнительный анализ объектов-аналогов, выбор направлений развития базового объекта из группы альтернативных направлений. Предполагает четко продуманную технологическую цепочку методических приемов сбора и анализа данных под конкретную задачу диагностики родственных объектов.

Анализируя вышесказанное, также можно сформулировать термин «оперативная диагностика» для задачи мониторинга технического состояния локомотива как - совокупность методов и средств, позволяющих диагностировать заданные параметры локомотивов в процессе их эксплуатации и технического обслуживания без изменения сроков регламентных работ, что позволяет снизить затраты на диагностическое оборудование, поскольку стоимость нескольких комплектов диагностического оборудования на локомотивное депо значительно меньше затрат на оснащение бортовой аппаратурой каждого локомотива.

На основании проведенного анализа существующих диагностических систем и комплексов можно сформулировать основные требования к средствам оперативной диагностики.

Требования к средствам оперативной диагностики

Для требований необходимо:

- информация о периодичности ТО и ТР;
- объем работ по всему тепловозу;

Необходимо чтобы оператор диагностического оборудования не мешал локомотивной бригаде или другому ремонтному персоналу.

- информация об технологических операциях, которые можно распараллелить, чтобы они друг другу не мешали;
- объяснить, как будет работать оператор диагностического оборудования.

Таблица 2.2 – Сравнительный анализ систем диагностики тепловозных дизелей

Параметры	Стационарные системы	Переносные системы	Мобильные системы диагностики, измерители и тестеры	Бортовые системы контроля и диагностики
Продолжительность проведения диагностирования				
Выполнение диагностирования за время прохождения ТО-1 или ТО-2	-	-	+	+
Диагностирование за время, лимитированное условиями эксплуатации – при прохождении ТО-3	-	-	+	+
Проведение дополнительных операций перед диагностированием				
Нагружение на реостат	+	+	+/-	-
Диагностирование выполняется средствами, находящимися на самом тепловозе	-	-	-	+
Проведение дополнительных подготовительных работ, в т.ч. по приведению состояния основных узлов и агрегатов тепловоза к нормированным условиям	+	+	+/-	-
Номенклатура диагностических параметров				
Индикаторная диаграмма и параметры рабочего процесса	+	+	+	-
Фазы топливоподачи и параметры работы топливной аппаратуры	+	+	+	-
Фазы газораспределения и параметры работы механизма газораспределения	-	-	+/-	-
Параметры работы цилиндропоршневой группы	+/-	+/-	+/-	-
Обороты коленчатого вала дизеля	+	+	+/-	+
Массогабаритные показатели, отвечающие требованию портативности				
Размеры	-	-	+	-
Вес	-	-	+	-
Стоимость оборудования заведомо обеспечивающая положительный экономический эффект от проведения диагностических мероприятий				
	-	-	+	+

Средства оперативной диагностики должны:

1. Обеспечивать измерение требуемых диагностических параметров, необходимых для оценки технического состояния и определения энергетических, экологических показателей, а также показателей надежности и ресурса локомотива.
2. Обладать высоким уровнем технологичности применения: малой трудоемкостью при настройке, монтаже датчиков, а также при получении и обработке данных диагностики; достаточно высоким уровнем унификации для различных типов дизелей (первичная унификация соединений датчиков и контрольных точек дизелей или наличие переходных приспособлений под каждый тип дизеля).
3. Иметь достаточный объем собственной (оперативной) памяти в зависимости от объемов выполняемых измерений (величины обслуживаемого парка тепловозов, периодичности оперативного контроля).
4. Иметь современный, компактный источник питания, обеспечивающий выполнение требований, связанных со временем непрерывной работы комплекса оперативной диагностики и объема выполняемых работ (величины обслуживаемого парка тепловозов).
5. Обладать достаточным уровнем конструктивного исполнения, обеспечивающего высокие показатели надежности, долговечности и ресурса: защиту от воздействия окружающей среды, помехозащищенность, ударостойкость.
6. Иметь высокие показатели надежности, долговечности и ресурса, обеспечиваемые достаточным уровнем конструктивного исполнения учитывающего защиту от воздействия окружающей среды, помехозащищенность, ударостойкость и т.п..
7. Иметь высокие показатели надежности, долговечности и ресурса.
8. Обладать высоким уровнем конструктивного исполнения – уровень конструктивного исполнения зависит от условий окружающей среды (атмосферные условия – температура, влажность, давление), условия экс-

плуатации (разовые удары, вибрации, электромагнитные помехи), механически надежные и помехозащищенные датчики, разъемы, корпуса и провода, отсутствие промежуточных преобразователей, минимально возможная длина кабельных трасс.

9. Отвечать современным требованиям массогабаритных показателей – диагностическая система в полном комплекте должна переноситься одним человеком [42, 62, 79, 119].

2.4 Выводы по главе

1. Рассмотрены и классифицированы современные средства технической диагностики, применяемые в локомотивном хозяйстве.

2. Стационарные системы являются оптимальным решением для мониторинга оборудования. Системы такого типа имеют от 10 до 30 датчиков, длину соединительных кабелей около 30 м, вес комплекта примерно 50-80 кг и позволяют контролировать до 50 параметров.

3. Портативные системы диагностирования обладают рядом преимуществ, заключающихся в возможности автономной работы на локомотиве без применения громоздких стационарных систем. Системы такого типа имеют от 3 до 5 датчиков, длину соединительных кабелей порядка 10 м, вес комплекта 10-15 кг и позволяют контролировать от 5 до 20 параметров.

4. Мобильные системы относятся к типу систем разделенного мониторинга, основной идеей которого является разбиение системы на два функциональных модуля. Первый модуль реального времени получает данные от датчиков, устанавливаемых на двигателе, производит предварительный расчет и выдает на экран оперативные основные параметры. Второй, расчетный модуль выполняет последовательное решение задач синхронизации данных, рассчитывает и анализирует диагностические показатели. В систему такого типа входит минимальное число датчиков (до 3-х шт.) и соединительные провода небольшой длины (не более 1,5 м).

3 РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ТЕПЛОВОЗНЫХ ДИЗЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ СРЕДСТВ ОПЕРАТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ

Анализ развития современных отечественных и зарубежных средств диагностирования показывает, на сегодняшний день получают активное развитие малогабаритные диагностические приборы различного назначения (электромеханические и электрические) на основе современных микроконтроллеров с большими вычислительными возможностями, стандартной операционной системой, набором датчиков и присоединительных приспособлений.

В основу проектируемой комплексной системы диагностики дизелей заложены следующие приборы и системы:

- система мониторинга дизельных двигателей СМДд;
- анализатор герметичности цилиндров АГЦ-2;
- механотестер топливной аппаратуры МТА-2.

Комплексная система, представленная на рисунке 3.1, является совместной разработкой кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), кафедры «Эксплуатация мототракторного парка» Московского государственного Агроинженерного университета (МГАУ) и кафедры «Судовые энергетические установки и техническая эксплуатация» Одесского национального морского университета (ОНМУ), и имеет положительный опыт эксплуатации для диагностирования автотракторных, судовых и тепловозных дизелей [8-10, 14, 56].

Главная задача, решаемая с помощью нового оборудования: определение основных параметров рабочего процесса тепловозного дизеля непосредственно в эксплуатации, выявление неисправностей в устройствах топливоподачи и газораспределения, цилиндропоршневой группе.

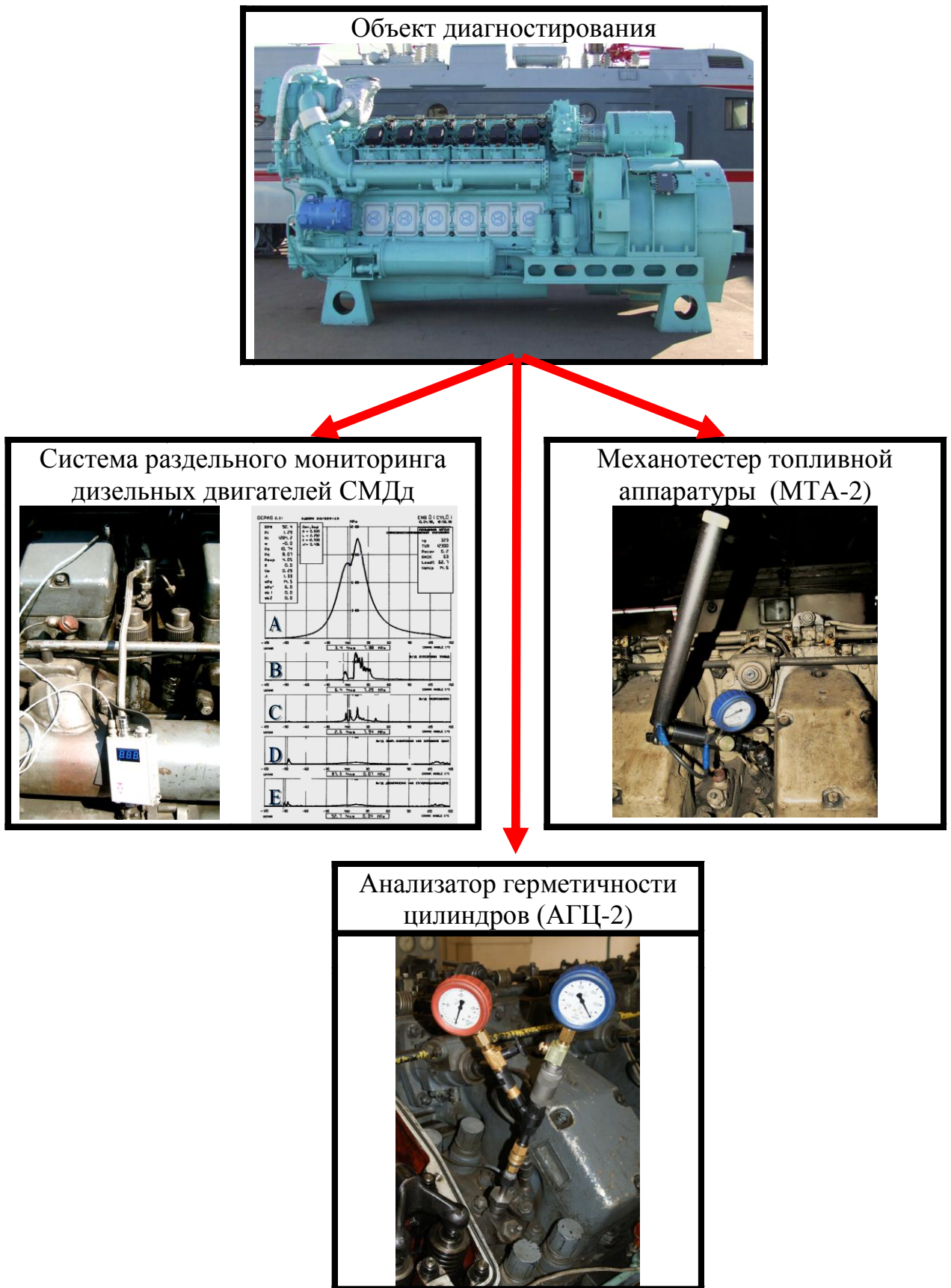


Рисунок 3.1 - Комплексная система контроля и диагностики тепловозных дизелей

3.1 Система мониторинга дизельных двигателей СМДд

Система мониторинга СМДд относится к классу систем разделенного мониторинга и на сегодняшний день является перспективным средством для оперативной оценки технического состояния транспортных дизелей.

Именно приборы разделенного сбора и последующей независимой обработки информации позволяют легко производить качественное техническое обслуживание дизеля и не допускать развитие дефектов, приводящих к повышенному расходу топлива, а также к авариям.

Изначально система была создана в лаборатории «Мониторинга судовых ДВС» кафедры «Судовые энергетические установки и техническая эксплуатация» Одесского национального морского университета (ОНМУ) и предназначалась для испытаний судовых дизелей, однако затем специалистами кафедры «Локомотивы и локомотивное хозяйство» МИИТа была успешно адаптирована для тепловозных силовых установок [8, 9, 11, 31, 94].

К основным контролируемым параметрам системы СМДд, прежде всего, относятся энергетические факторы, характеристики тепловой и механической напряженности, фазы топливоподачи и газораспределения, а так же общая оценка технического состояния двигателя внутреннего сгорания и остаточный ресурс. Такая подробная информация по каждому цилиндру дает возможность точного контроля мощности дизеля.

Параметры рабочего процесса конкретного цилиндра тепловозного дизеля определяются по трем информационным каналам (см. рисунок 3.2):

- процесс и фазы сгорания топлива;
- процессы и фазы впрыскивания топлива по ТНВД и форсунке;
- фазы газораспределения выпускного и впускного клапанов.

Основным измерительным элементом системы является неохлаждаемый датчик объёмного типа PS-16 давления газов в цилиндре дизеля. Данные используются для последующего расчета индикаторной мощности цилиндра и определения основных параметров рабочего процесса [31, 74, 81, 84, 99, 121, 158, 174].

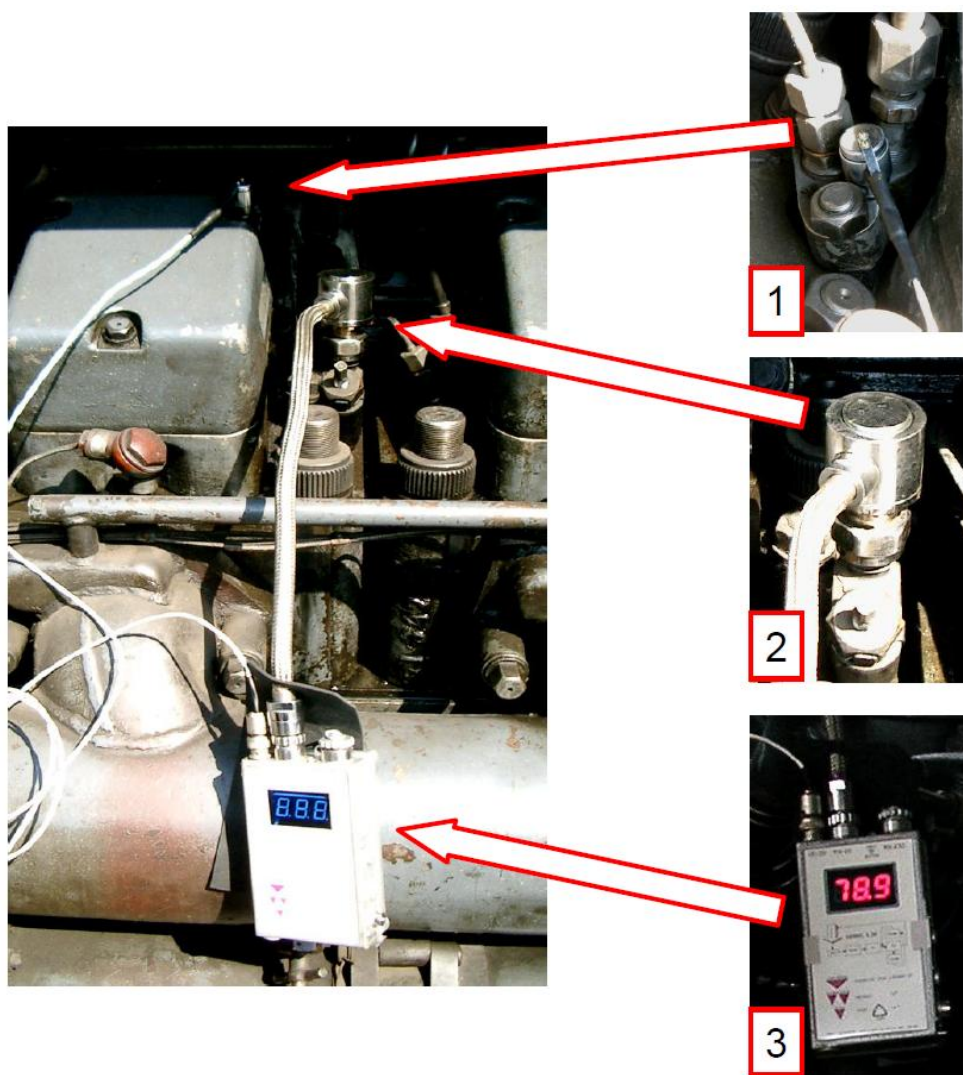


Рисунок 3.2 - Применение системы СМДд для диагностики дизеля Д49.
 1 - Вибродатчик VS-20 на корпусе форсунки (определение действительных фаз топливоподачи), и на правом болте крышки цилиндров (определение фаз газораспределения); 2 - Датчик давления PS-16 на индикаторном кране;
 3 - Модуль сбора данных.

Вибродатчик VS-20 является вспомогательным датчиком системы. Анализ виброимпульсов различных узлов топливной аппаратуры и механизма газораспределения дизеля позволяет определить параметры топливоподачи и газораспределения.

Применение вибродатчика, в отличие от традиционных способов записи параметров работы топливной аппаратуры, позволяет решить сразу несколько задач (см. рисунок 3.3).

- исключить предварительную подготовку к диагностированию, установку дополнительных датчиков в топливную систему;

- проводить более подробную оценку работы топливной аппаратуры, за счет снятия вибродиаграммы работы форсунки или ТНВД, более информативной по сравнению с диаграммами хода иглы форсунки или давления топлива;
- проводить оценку работы механизма газораспределения по фазам и вибродиаграммам работы выпускного и впускного клапанов;

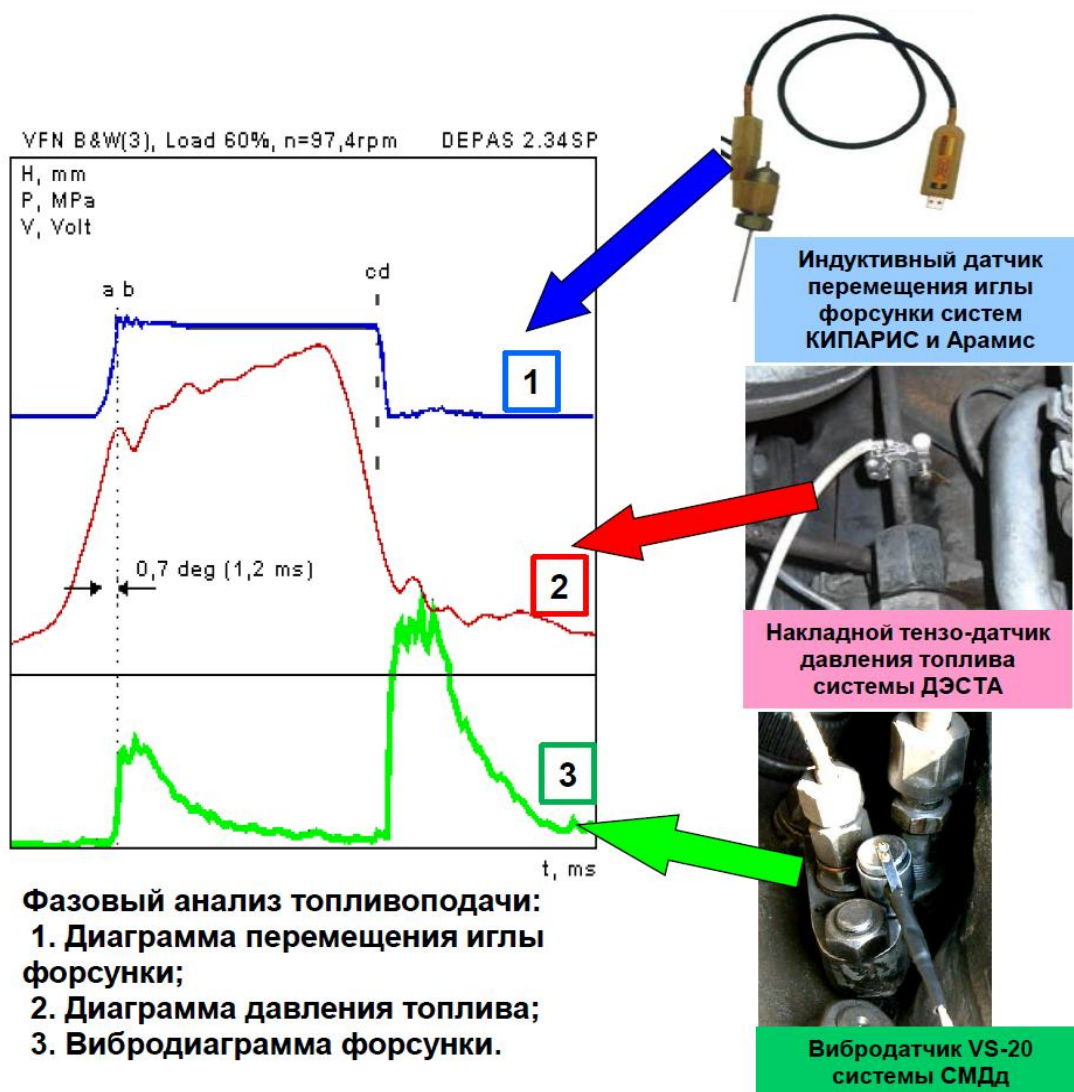


Рисунок 3.3 - Сигналы от датчиков различных типов при диагностировании топливной аппаратуры

Система позволяет производить мониторинг рабочего процесса 2-х и 4-тактных дизелей (во всех диапазонах частот вращения с разрешением не менее 0,5 градусов поворота коленчатого вала). Использован уникальный высокоэффективный алгоритм «безфазовой синхронизации» - определение «мерт-

вых» точек (ВМТ и НМТ), а также последующая синхронизация полученных данных без использования датчиков, устанавливаемых на маховике двигателя.

Используемый в системе алгоритм автоматически учитывает влияние скручивания коленчатого вала на нагруженном двигателе, и также автоматически учитывает влияние несоответствия между истинным положением ВМТ и маркировки ее на маховике, возникающего вследствие ошибок измерения и маркировки. Кроме того, алгоритм учитывает влияние конечной скорости прохождения волны давления в канале индикаторного крана (от камеры сгорания до мембраны датчика давления).

Большим достоинством системы является то, что диагностирование параметров топливоподачи и газообмена происходит без непосредственного внедрения дополнительных датчиков в топливную систему высокого давления и механизм газораспределения.

Измерения проводятся на режиме холостого хода, а также режимах частичных (25 %, 50-70 % и полных нагрузок при нагруженном на реостат дизеле у тепловозов с электрической передачей и стоповом режиме у тепловозов с гидравлической передачей).

Предлагаемое разделение функций системы мониторинга дизелей тепловозов СМДд дает возможность упростить интерфейс системы и сократить ее стоимость.

В таблице 3.2 представлены полные сведения о параметрах, диагностируемых системой СМДд [21, 22, 38, 77, 78, 96-98, 102, 115, 116, 131, 147, 178].

Наиболее важный и трудоемкий процесс анализа полученных данных производится по результатам банка сведений, полученных статистическим путем. Выявлению и анализу подаются следующие неисправности:

1. Замедленная подача топлива:

- повреждение форсунки или сопла распылителя;
- низкое качество топлива (если аналогичные данные по всем цилиндрам).

2. Малое опережение подачи топлива:

- износ прецизионных деталей ТНВД;
- подтекание нагнетательного клапана ТНВД;
- чрезмерный износ или повреждение сопла форсунки.

Таблица 3.2 - Параметры рабочего процесса дизеля, контролируемые системой СМДд

Параметры	Основные	Дополнительные
Среднее индикаторное давление	+	
Цилиндровая индикаторная мощность	+	
Частота вращения коленчатого вала двигателя	+	
Максимальное давление сжатия	+	
Максимальное давление сгорания	+	
Давление на линии расширения	+	
Угол, соответствующий максимальному давлению сгорания	+	
Максимальная скорость нарастания давления при сгорании (жесткость процесса)	+	
Степень повышения давления	+	
Давление начала сгорания	+	
Угол опережения начала сгорания	+	
Действительный угол начала подачи топлива	+	
Угол продолжительности подачи топлива		+
Оценка технического состояния форсунки		+
Определение фаз газораспределения		
➤ выпускного клапана		+
➤ впускного клапана		+
Оценка технического состояния механизма газораспределения		+
Давление в любой точке диаграммы		+
Угол и время задержки воспламенения топлива		+

3. Негерметичность рабочей камеры сжатия:

- износ или повреждение поршневых колец;
- подгорание головки цилиндра;
- неплотность клапанов газораспределения;
- возможное снижение давления наддува (если такие же данные по всем цилиндрам).

Система СМДд отличается:

- высокой мобильностью;
- простотой эксплуатации;
- невысокой стоимостью;
- широкой областью применения для различных типов и серий транспортных двигателей;
- ограниченным объемом информации в момент диагностирования;
- полным расчетом рабочего процесса только на внешнем компьютере.
- короткой связью переносного прибора и датчиков;
- автономным питанием на 10 ч непрерывной работы;
- применением адаптированных программ Windows ПО.

Специалисты МИИТа проводят испытания и адаптацию системы СМДд для диагностики всех основных типов тепловозных дизелей.

3.2 Механотестер топливной аппаратуры МТА-2

Механотестер предназначен для оценки технического состояния форсунок (см. таблицу 3.3), нагнетательных клапанов и плунжерных пар топливного насоса высокого давления при техническом обслуживании тепловозов.

Таблица 3.3 - Технические характеристики МТА-2

Тип устройства	Переносной, механический, универсального применения
Максимальное усилие на рычаге, кгс	13,7
Емкость резервуара для топлива, л	0,132
Пределы измерения давления топлива, кгс/см ²	0...400
Подача плунжерной пары, см ³	0,59
Рабочая жидкость	дизельное топливо
Габаритные размеры, мм, не более	187x394x60
Масса, кг, не более	3,0

Механотестер состоит из корпуса, рукоятки-резервуара, манометра и переходника (см. рисунок 3.4). Внутри корпуса установлены плунжерная пара, нагнетательный клапан и пружина нагнетательного клапана.

На корпусе механотестера установлен дроссельный кран, обеспечивающий сбрасывание давления из нагнетательной полости. Для удаления воздуха из системы топливоподдачи механотестера на корпусе имеется специальная пробка. Рабочая жидкость заливается в рукоятку и подается в полость плунжерной пары через трубопровод.

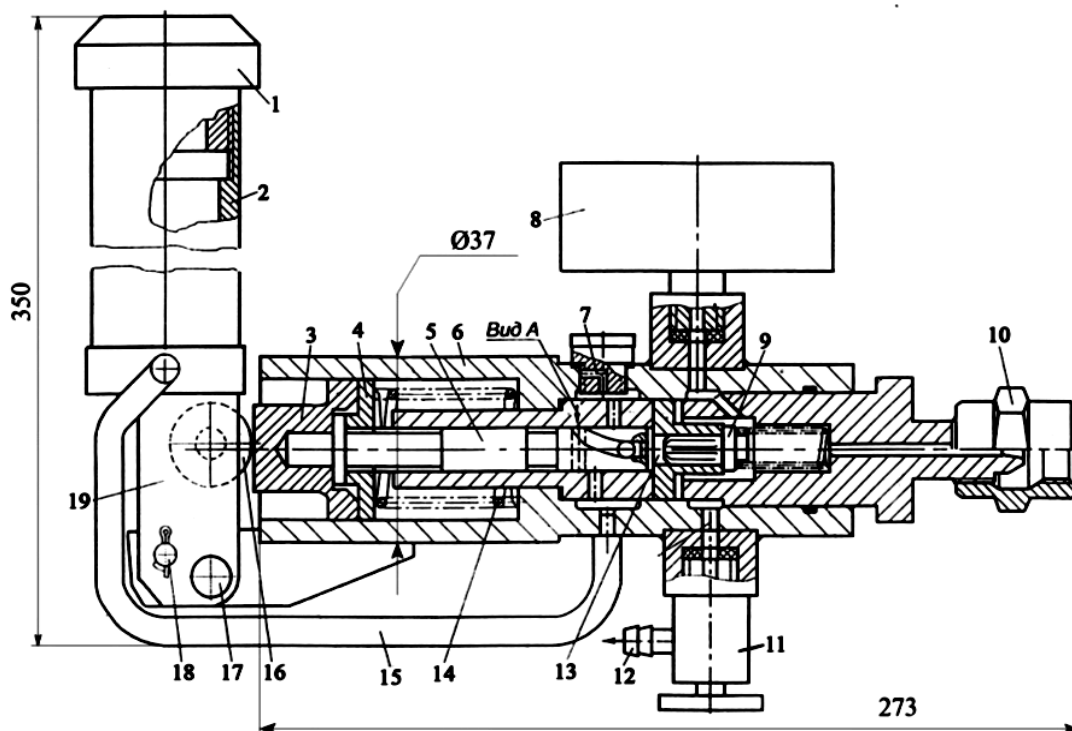


Рисунок 3.4 - Механотестер топливной аппаратуры МТА-2

1 - заглушка бачка; 2 - ручка бачка; 3 - толкатель; 4 - тарелка пружины; 5 - плунжерная пара; 6 - корпус; 7 - дроссель плунжерной пары; 8 - манометр; 9 - нагнетательный клапан; 10 - гайка соединительная; 11 - дроссель нагнетательного клапана; 12 - штуцер; 13 - тарелка клапана; 14 - пружина возвратная; 15 - патрубок топливоподводящий; 16 - ролик; 17 - ось; 18 - стопор; 19 - кулиса в сборе.

Механотестер позволяет произвести: проверку качества распыливания топлива, оценку гидроплотности распылителя; определить давление начала впрыскивания топлива; оценку гидроплотности нагнетательных клапанов и гидроплотности плунжерных пар ТНВД.

Выявляемые неисправности топливной аппаратуры:

1. Неисправности форсунок:

- плохое качество распыла топлива;
- разрегулирование давления впрыска, излом пружины;

- подтекание из-за зависания иглы в корпусе распылителя и нарушения плотности по уплотнительному пояску.

2. Неисправности ТНВД:

- износ плунжерной пары и нагнетательного клапана;
- заклинивание плунжера в гильзе;
- пропуск топлива между сопрягаемыми деталями.

3.3 Анализатор герметичности цилиндров АГЦ-2

Прибор АГЦ-2 предназначен для обслуживания двигателей внутреннего сгорания (бензиновых или дизельных). Анализатор позволяет определять состояние отдельных цилиндров ДВС, в том числе компрессионных и масляных колец, износа зеркала цилиндра, герметичность впускных и выпускных клапанов. Основные технические данные прибора АГЦ-2 приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 - Технические характеристики АГЦ-2

Тип устройства	переносной
Класс точности манометра	2,5
Количество проверяемых параметров, ед.	2
Габаритные размеры, мм	250x100(45)x40
Масса (без ПУ), кг, не более	1,0
Средняя трудоемкость диагностирования 1-го цилиндра (включая подготовительные работы), чел/час:	
- дизельного двигателя	0,25
- бензинового двигателя	0,15
Количество обслуживающего персонала, чел.	1
Средний ресурс, часов, не менее	1500
Рабочие условия эксплуатации:	
- температура окружающего пространства в период измерения, град. С ⁰	10-30
- относительная влажность, % не более	90
<u>Примечание.</u> Драгоценные металлы в устройстве отсутствуют.	

Анализатор состоит из следующих элементов (см. рисунок 3.5): корпуса 1, в котором размещен клапанный механизм, состоящий из вакуумного клапана 2 и подвижного элемента 4. Выпускной клапан снабжен стопорной гай-

кой 5, фиксирующей подвижный элемент 4 в режиме отключения (перекрытия) клапана. Крышка корпуса 7 и корпус клапана 3 с вакуумным каналом, соединены с вакуумметром 8 и уравнительным клапаном 6.

Подсоединение АГЦ-2 к проверяемому цилиндру осуществляется через форсуночное отверстие посредством переходного устройства.

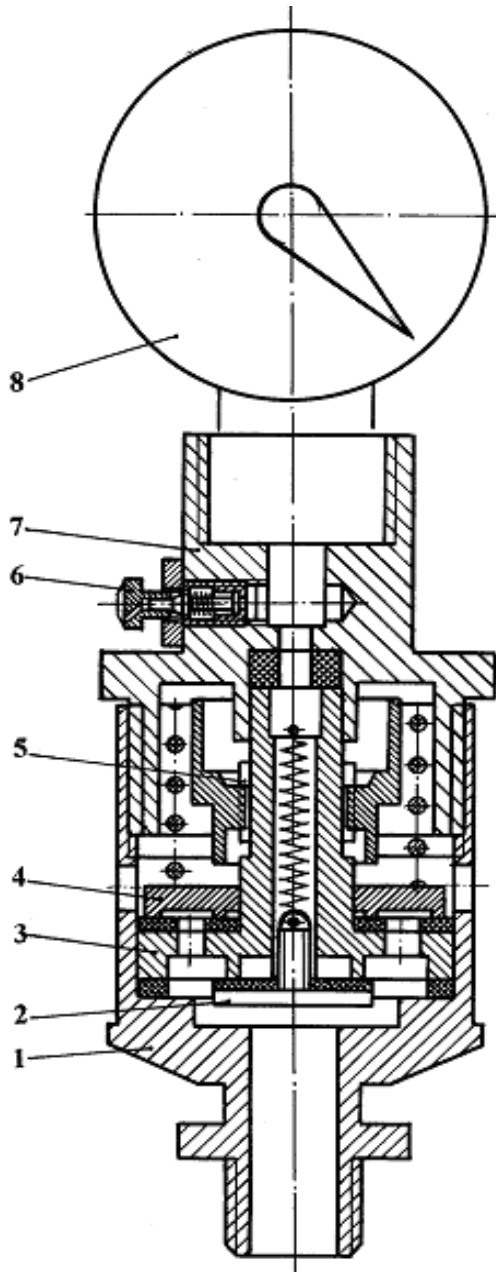


Рисунок 3.5 - Схема и общий вид диагностического прибора АГЦ-2

За счет своевременного выявления дефектов составных элементов цилиндропоршневой группы Анализатор позволяет исключить необоснованные

полнокомплектные ремонты цилиндропоршневой группы (ЦПГ), полнее использовать ресурс.

Компрессионно-вакуумный метод диагностики цилиндропоршневой группы прибором АГЦ-2, предполагает измерение полного и остаточного вакуума, а также компрессии в цилиндре дизеля в процессе прокручивания коленчатого вала в режиме стартерного пуска.

Полный вакуум (-P1). Величину максимального разрежения в цилиндре, которую способна создать ЦПГ, называют полным (полезным) вакуумом (-P1). Благодаря эффекту масляного клина, величина полного вакуума при удовлетворительном состоянии гильзы цилиндра и герметичности клапанов не бывает ниже определённого значения (-P1min) для каждого типа ДВС и практически не зависит от состояния поршневых колец. Поэтому в зависимости от величины полного вакуума (-P1) мы можем сделать вывод о состоянии гильзы цилиндра (эллипсность, наличие задиров).

По соотношению числа отказов ДВС (на примере дизеля) ЦПГ занимает второе место (20 %) после топливной аппаратуры (45 %). Известные инструментальные методы диагностирования ЦПГ можно свести к трем основным:

- интегральная оценка пневмоплотности сопряжения «гильза – компрессионное кольцо – канавка поршня» по расходу газов, прорывающихся в картер;
- оценка пневмоплотности конкретного цилиндра путем принудительной его опрессовки сжатым воздухом (принцип пневмокалибратора);
- оценка пневмоплотности конкретного цилиндра по максимальному давлению в конце такта сжатия (компрессометр).

Самый известный и популярный среди практиков компрессионный метод. Положительные качества его - простота, доступность, универсальность. На показатели компрессии влияют пусковые обороты коленчатого вала и температура окружающей среды. При разряженном аккумуляторе и прокрутке коленчатого вала потеря компрессии составляет в среднем 0,1 МПа - 0,15 МПа.

Остаточный вакуум (-P2). При «круглой» гильзе и «плотных» клапанах наличие масляного клина всегда обеспечит высокий вакуум. На такте сжатия давление повышается до максимального значения в момент достижения поршнем ВМТ. При этом часть сжимаемого воздуха прорывается через поршневые кольца в картер двигателя. После достижения ВМТ поршень идет вниз (такт расширения), возвращаясь в НМТ, при этом в цилиндре создается небольшой вакуум, называемый «остаточным».

Вакуумный клапан «запоминает» остаточный вакуум (-P2), величина которого пропорциональна той части давления (компрессии), которая была «потеряна» при прорыве части воздуха через компрессионные кольца. При мало изношенных и не закоксованных (подвижных) кольцах величина остаточного вакуума весьма незначительна. При изношенных, закоксованных или поломанных компрессионных кольцах значение -P2 существенно возрастает.

В сечении изношенная гильза имеет форму эллипса. При большой степени износа (более 60 %) наличие зазора между эллипсоидным сектором зеркала цилиндра и круглым сектором компрессионного кольца обуславливает появление подсоса воздуха из картера на такте разрежения (расширения), который невозможно остановить масляным клином. Аналогичная картина наблюдается при наличии на поверхности гильзы сильной выработки или вертикальных глубоких борозд.

В приведенных примерах рассмотрены классические (естественные) износы и механические дефекты гильз и колец. Между тем в практике эксплуатации ЦПГ гораздо более часто встречаются неисправности субъективной природы возникновения, в основе которой лежит неполное сгорание топлива в камере сгорания и попадание туда масла из-за негерметичности колпачков и направляющих втулок клапанов.

Как известно, наличие масла в цилиндре значительно влияет на достоверность оценки пневмоплотности ЦПГ любым из перечисленных выше методов. Однако вакуумный метод и здесь позволяет распознать причину возникновения неисправности. Завышенные показатели -P1 свидетельствуют о

наличие в цилиндрах дополнительного источника пневмоплотности в результате закоксовки колец, потерявших свою подвижность, и тем самым усиливших насосный эффект поршней. В целом на основе большого статистического материала можно сформулировать общее правило – если значение $-P1$ отдельного цилиндра (или всех) превышает среднее значение остальных или среднестатистическое для установленной наработки или пробега на $0,04 \text{ кгс/см}^2$, то это превышение свидетельствует о наличии в цилиндре свободного масла.

Разумеется, кроме масла в цилиндр может попадать топливо или охлаждающая жидкость, где уменьшение показателей $-P1$ связано с разжижением масляного клина.

Особое место в классификации неисправностей ЦПГ отводится клапанному механизму. Теоретически, в случаях небольшого нарушения пневмоплотности сопряжения «клапан-седло» значения $-P1$, $-P2$ (например, для дизеля) будут близки. И тогда, естественно, возникает зона информационной неопределенности, преодолеть которую возможно только с привлечением дополнительной диагностической информации (в данном случае используя пневмокалибратор). Практически неисправность указанного сопряжения проявляется в виде внезапного отказа (прогар, скол, трещина), приводящего к потере работоспособности данного цилиндра. Образование условного отверстия («дыры») в камере сгорания приводит к резкому уменьшению величины $-P1$, т.к. никакой дополнительный источник пневмоплотности (лишнее масло, не прогоревшее топливо) не в состоянии его уплотнить.

Экспериментальные исследования, подкрепленные большим статистическим материалом, позволили обосновать основные нормативные значения показателей $-P1$ и $-P2$ для дизельных и бензиновых двигателей (см. таблицу 2.5).

Анализ полученного значения очень наглядно подтверждает изложенное выше положение о наличии функциональной зависимости между величиной

потерянного в конце такта сжатия давления и величиной возникшего в конце такта расширения вакуума (остаточного).

Таблица 2.5 - Нормативные значения показателей -P1 и -P2 для дизельных и бензиновых ДВС

ДВС	Номинальные значения, кгс/см ²		Предельные значения, кгс/см ²		
	Гильза -P ₁	Кольца -P ₂	Гильза - P ₁	Кольца - P ₂	Клапан - P ₁
Дизель	0,89-0,94	0,14-0,17	0,78	0,25	0,65
Карбюратор Аи-92	0,80-0,84	0,17-0,20	0,75	0,32	0,60

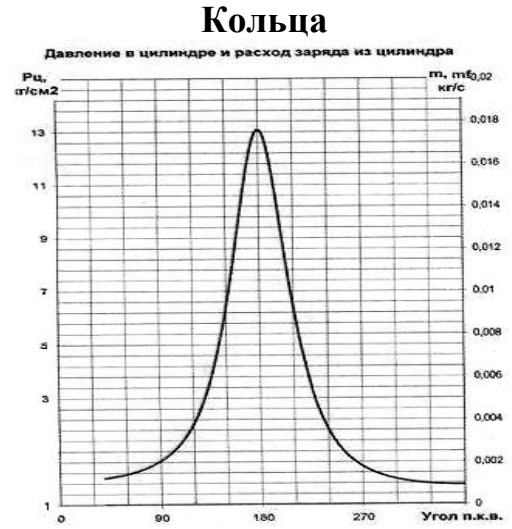
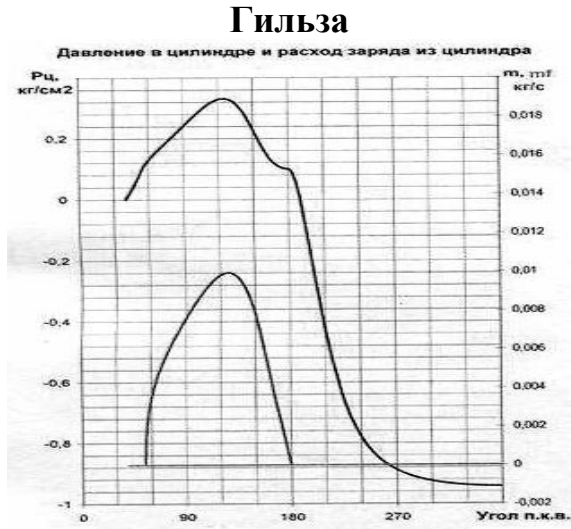
Так, в примере (см. рисунок 3.6.) значения -P1, -P2 и Pк зашкаливают, соответственно до 0,93; 0; 13.

В реальном состоянии (см. рисунок 3.6 (б)) значения характеристик практически совпадают с нормативными, Разность значений компрессии 1,1 обуславливает появление остаточного вакуума (-P2 = 0,18). Наконец, при предельном состоянии колец (см. рисунок 3.6 (в)) разность значений Pк в сравнении с теоретически идеальным достигает 3,9, что, в свою очередь, увеличивает значение -P2 до 0,35.

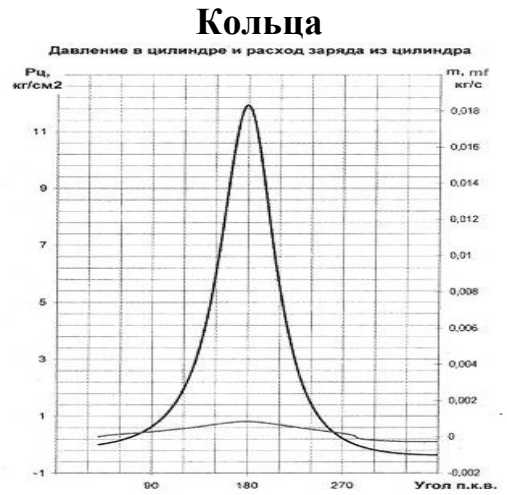
На основе представленных нормативных значений можно рассчитать информативность и методическую погрешность данного метода. Диапазон изменения параметра $0,94 - 0,14 = 0,8$ кгс/см², соответственно информативность $0,8/0,94 = 85$ %. Абсолютная методическая погрешность находится в пределах $0,04$ кгс/см², а относительная $0,04/0,8 = 5$ %. В сравнении с методической погрешностью компрессометра (30 %) и информативностью (20 %) вакуумный метод выглядит гораздо предпочтительнее, т.к. позволяет не только «распознавать» неисправность, но и прогнозировать остаточный ресурс.

Рассмотренный вакуумный метод и технология диагностики состояния ЦПГ в настоящее время реализованы в серийно выпускаемом приборе «Анализатор Герметичности Цилиндров (АГЦ-2)».

а)



б)



в)

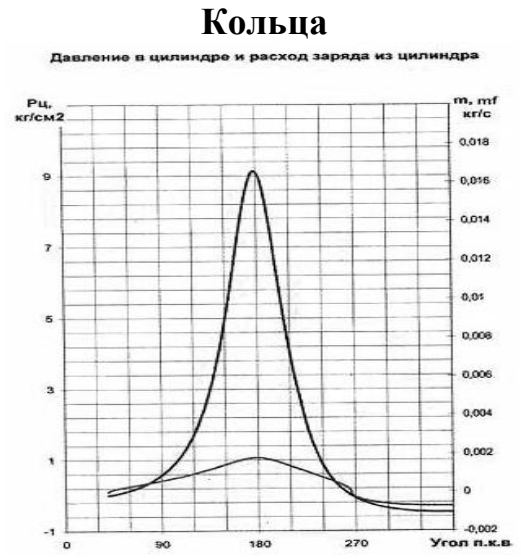
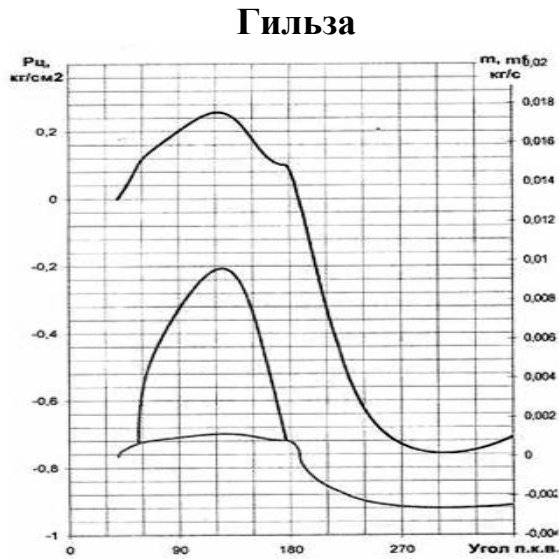


Рисунок 3.6 - Примеры использования пневмовакuumных процессов:
 а – теоретически идеальное состояние; б – практически нормальное состояние; в – отказ.

Величину потерь давления рабочего тела через неплотности в цилиндре ДВС при максимальном давлении в цилиндре называют остаточным (паразитным) вакуумом ($-P_2$). При удовлетворительном состоянии гильзы цилиндра и герметичности клапанов величина остаточного вакуума характеризует состояние поршневых колец - степень износа, залегание (закоксовка), поломку перемычек на поршне, поломку колец. Пневмоплотность закрытия клапанов, а также наличие трещин в днище поршня, в головке блока ДВС в большей мере влияет на значение величины соотношения P_1/P_2 , соответственно в случае пониженного значения величины P_1/P_2 от номинально допустимых, можно выявить неполадки, связанные с клапанами, трещинами в деталях. Причем степень расхождения с номинальными значениями P_1/P_2 позволяет разделить не герметичность клапанов или же трещины в деталях.

Для удобства работы с прибором АГЦ-2 по результатам длительной обработки статистического материала создана графическая зависимость, представленная на рисунке 3.7.

В связи с повышением требований к методам и средствам диагностирования машин в части повышения достоверности постановки диагноза и снижения трудоёмкости, для прибора АГЦ-2 разработаны универсальные переходные устройства для диагностирования дизелей типа ЧН26/26 (Д49), ЧН31,8/33 (ПД1М), ЧН31/36 (К6S310DR) и ЧН15/18 (Д12 и Д6).

За счет своевременного выявления дефектов составных элементов цилиндропоршневой группы Анализатор позволяет исключить необоснованные полнокомплектные ремонты ЦПГ, полнее использовать ресурс.

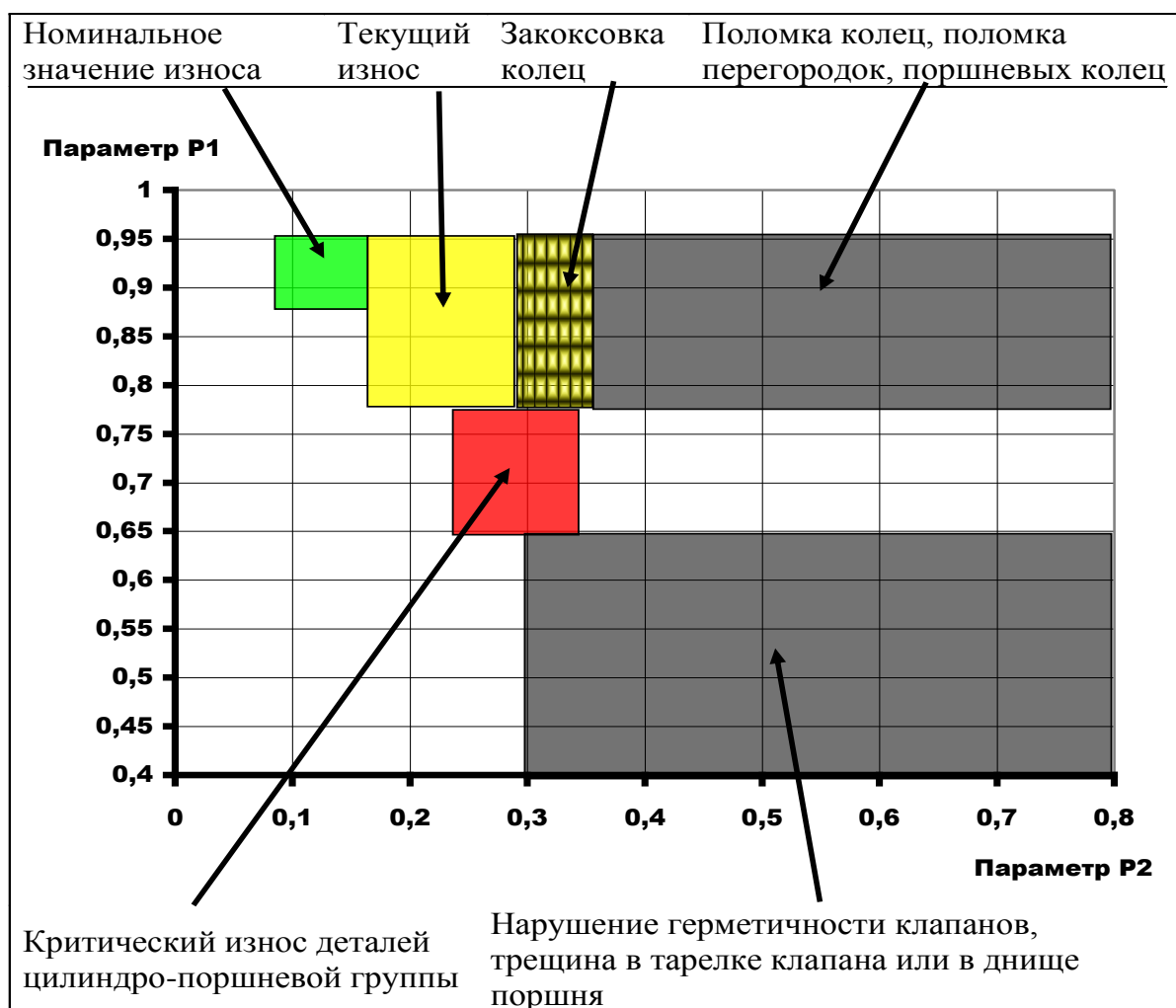


Рисунок 3.7 - График согласования параметров P1 и P2 и основные диагностируемые дефекты

3.4 Выводы по главе

Предлагаемое разделение функций системы мониторинга дизелей тепловозов СМДд дает возможность упростить интерфейс системы и сократить ее стоимость.

Одним из существенных достоинств системы является то, что диагностирование параметров топливоподачи и газообмена происходит без непосредственного внедрения дополнительных датчиков в топливную систему высокого давления и механизм газораспределения.

4 РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВЫПУСКНЫХ ГАЗОВ ПО КОСВЕННЫМ ПАРАМЕТРАМ

4.1 Постановка задачи

При создании системы диагностики СМДд в неё были заложены широкие возможности. Однако некоторые из этих возможностей по ряду причин остались или невостребованными или в полной мере неразвиты. В частности одной из них является определение температуры в цилиндре (средней температуры газов на выходе из цилиндра).

Исследуемая величина температуры газов в цилиндре определяется с помощью датчика давления PS-16, а также расчетного модуля системы (программное обеспечение).

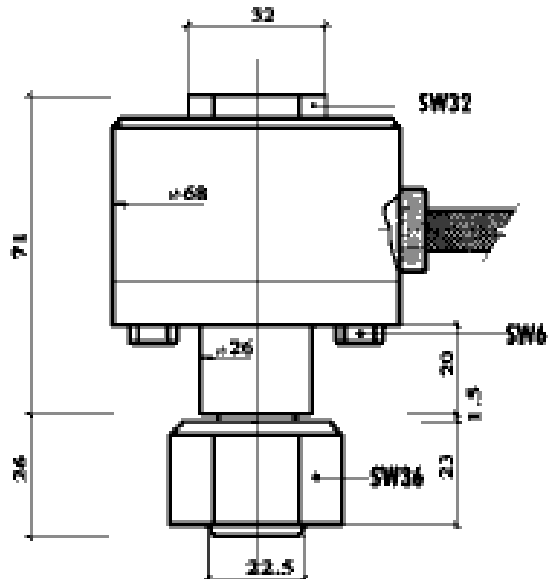
Использован параметр - ZLP - постоянный уровень сигнала датчика при записи соответствующего цилиндра, отражающий степень рассогласования основной и термокомпенсирующей емкости на момент измерения. Степень рассогласования этих емкостей пропорциональна средней температуре рабочего цикла на момент измерений (см. рисунок 4.1). Таким образом, можно определить теплонапряженность по значениям ZLP каждого расчета, предположив, что $ZLP=f(t_{Ц})$.

Непосредственное измерение температуры выпускных газов невозможно провести за время, отводимое для оперативной диагностики, поскольку время установки и снятия традиционных термопарных датчиков (4 мин на 1 цилиндр) в сумме с временем установления их показаний (1-3 мин) значительно превышает время, отводимое на оперативную диагностику.

Измеряемое давление подается в камеру измерительного блока и преобразуется в деформацию металлической мембраны.

При этом происходит изменение величины емкостного преобразователя, размещённого в измерительном блоке. Электронный преобразователь преобразует это изменение емкости в выходной сигнал напряжения.

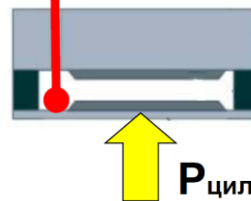
а)



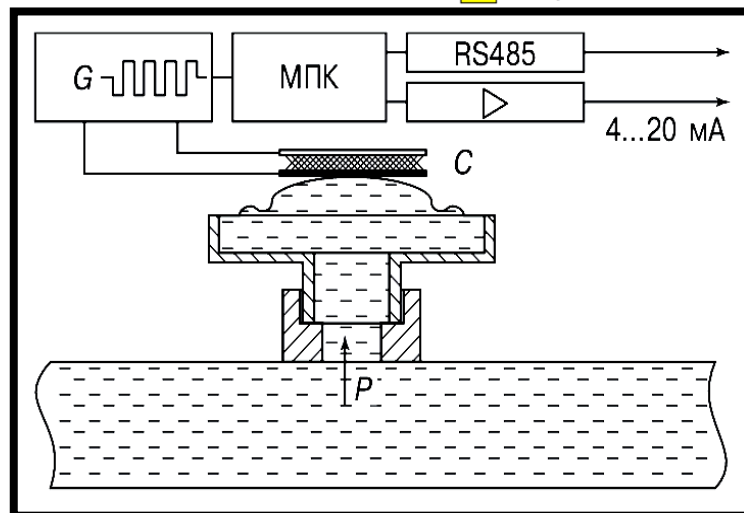
б)

ZLP – температурный коэффициент, получаемый датчиком PS-16 системы СМДд

$T_{\text{цил}}$ (ZLP)



в)



P -давление газов; G -генератор импульсов; C -компенсирующая ёмкость; \blacktriangleright -усилитель; RS485-модуль интерфейса вывода.

Рисунок 4.1 - Схема емкостного датчика давления

а) - общий вид датчика; б) – схема определения температурного коэффициента; в) – принципиальная схема подключения датчика.

Чтобы установить зависимость между параметрами, с помощью системы СМДд сняли показания с нескольких цилиндров дизеля и одновременно пря-

мым измерением с помощью пирометрической системы (в °С) фиксировалась температура выхлопных газов на выходе из цилиндра.

4.2 Влияние изменения основных параметров рабочего процесса на исследуемую величину температурного коэффициента

На основе анализа теории рабочего процесса ДВС с применением метода малых отклонений было установлено, что температура выхлопных газов связана с рядом параметров рабочего процесса [31, 34, 36, 80, 158]:

$$\delta T_{\Gamma} = \bar{T}_{II} \delta T_{\kappa\zeta} - \kappa_{\Gamma} \delta \alpha - \kappa_{\Gamma} \delta \rho_a - \kappa_{\Gamma} \bar{\eta}_{II} \delta \eta_i \quad (4.1)$$

где

$$\bar{T}_{II} = \frac{T_{\kappa\zeta}}{T_{\Gamma}} \quad (4.2)$$

- исходный температурный перепад в воздушном и газовыпускном трубопроводах;

$$\kappa_{\Gamma} = 1 - \frac{T_{\kappa\zeta}}{T_{\Gamma}} \quad (4.3)$$

- коэффициент влияния средневесовой температуры газа;

$$\bar{\eta}_{II} = \frac{\eta_i}{[1 - \eta_i - (\xi_{\omega} - p_{TP} \cdot \frac{\eta_i}{p_i}) - p_H \cdot \frac{\eta_i}{p_i}] } \quad (4.4)$$

- исходный относительный индикаторной к.п.д.

Известно, что при неизменной регулировке индикаторный к.п.д. выполненного двигателя наиболее существенно зависит от коэффициента избытка воздуха α и степени повышения давления при сгорании $\lambda = \frac{p_i}{p_c}$, где p_c – конечное давление в цилиндре при сжатии без подачи топлива. На этом основании можно записать

$$\eta_i = \eta_{i0} \cdot \eta_{\alpha} \cdot \eta_{\lambda} \quad (4.5)$$

где η_i – индикаторный к.п.д. на новом режиме;

η_{i0} – индикаторный к.п.д. исходного режима;

η_α – коэффициент, учитывающий изменение η_i вследствие изменения α ;

η_λ – коэффициент, учитывающий изменение η_i вследствие изменения λ .

Переходя к уравнению в малых отклонениях, получим

$$\delta\eta_i = \kappa_{\eta_\alpha} \cdot \delta\alpha + \kappa_{\eta_\lambda} \cdot \delta\lambda \quad (4.6)$$

Здесь κ_{η_α} , κ_{η_λ} – коэффициенты влияния, отдельно учитывающие воздействие на индикаторный к.п.д. коэффициентов избытка воздуха и степени повышения давления.

Изменение степени повышения давления при постоянной цикловой подачи топлива зависит от изменения периода запаздывания воспламенения. В свою очередь, изменение периода запаздывания воспламенения вызывается приращением температуры и давления воздуха в цилиндре к моменту подачи топлива. Так как параметры воздуха в конце сжатия при неизменном угле опережения впрыска топлива и постоянном числе оборотов могут считаться пропорциональными параметрам воздуха перед цилиндрами, то в конечном виде

$$\delta\eta_i = \kappa_{\eta_\alpha} \cdot \delta\alpha + \kappa_{\eta_T} \cdot \delta T_{\text{кц}} + \kappa_{\eta_p} \cdot \delta p_{\text{кц}} \quad (4.7)$$

где

$$\kappa_{\eta_T} = \kappa_{\eta_\lambda} \kappa_{\lambda T} \quad (4.8)$$

- коэффициент влияния температуры на индикаторный к.п.д.;

$$\kappa_{\lambda T} = \frac{\delta\lambda}{\delta T_{\text{кц}}} \quad (4.9)$$

- коэффициент влияния температуры на λ ;

$$\kappa_{\eta_p} = \kappa_{\eta_\lambda} \kappa_{\lambda p} \quad (4.10)$$

- коэффициент влияния давления на индикаторный к.п.д.;

$$\kappa_{\lambda p} = \frac{\delta\lambda}{\delta p_{\text{кц}}} \quad (4.11)$$

- коэффициент влияния давления на λ .

Отмеченные обстоятельства позволили сделать предположение, что при $G_T = \text{var}$, $N_e = \text{const}$ и $n_d = \text{const}$ имеет прямой смысл отказаться от раздельного учета влияния α и λ и пользоваться уравнением

$$\delta\eta_i = \kappa_{\eta_i} \delta\alpha \quad (4.12)$$

где κ_{η_i} – коэффициент влияния индикаторного к.п.д.

Частные примеры расчетов подтверждают, что подобное допущение оправдано и для тех случаев, когда цикловая подача топлива неизменна. Поэтому, не исключая принципиальной возможности использования уравнений (4.7) и эмпирических кривых, в дальнейшем при составлении систем применяется уравнение (4.12), что существенно упрощает решение.

Средневесовое значение температуры газа может быть определено на основании уравнения теплового баланса

$$T_G = \frac{mc_p' T_{кв} \alpha L_0 \varphi_a}{mc_p'' \alpha L_0 \varphi_a} + \frac{H_u \left[1 - \eta_i - \left(\xi_\omega - p_{TP} \cdot \frac{\eta_i}{p_i} \right) - p_H \cdot \frac{\eta_i}{p_i} \right]}{mc_p'' \alpha L_0 \varphi_a} \quad (4.13)$$

где mc_p' , mc_p'' – средние мольные изобарные значения теплоемкостей воздуха и газозоудушной смеси;

$p_{TP} \cdot \frac{\eta_i}{p_i}$ – доля индикаторной работы, расходуемая на преодоление трения и переходящая в теплоту, отводимую с охлаждающей жидкостью;

ξ_ω – опытный коэффициент теплоотвода, учитывающий долю тепла, отведенного с охлаждающей жидкостью (теплоотдача и теплота трения);

$$p_H \cdot \frac{\eta_i}{p_i} \quad (4.14)$$

- доля индикаторной работы, переходящая в работу насосных ходов; учитывает влияние на температуру газа разности давлений в выпускном и впускном трубопроводах;

$$\xi_\omega - p_{TP} \cdot \frac{\eta_i}{p_i} \quad (4.15)$$

- относительная теплоотдача в охлаждающую жидкость (воду и масло).

Уравнение (4.13) составлено в предположении, что коэффициент молекулярного изменения $\beta = 1$.

Изменяются показатели средней температуры цикла ($T_{ц.ср}$) и температуры выпускных газов ($T_{ог}$). Таким образом, изменение показателя температурного коэффициента ZLP датчика давления PS-16 системы СМДд должно быть пропорционально изменению этих показателей, т.е. $ZLP=f(T_{ц.ср}, T_{ог})$.

Одной задач работы является нахождения функциональной зависимости между исследуемой величиной температурного коэффициента ZLP и показателями средней температуры цикла и температуры выпускных газов.

Для построения объясняющего полинома выбраны корреляции разности между результатами прямых и косвенных измерений определенного параметра рабочего процесса с другими параметрами. Поскольку имеющаяся методика сбора экспериментальных данных не позволяет осуществить спланированный многофакторный эксперимент, проведение измерений на дизеле в условиях эксплуатации, за исключением случайных совпадений, не позволяет измерить одни параметры рабочего процесса при других параметрах, фиксированных на определенном уровне.

Например, максимальное давление сгорания P_Z при фиксированном максимальном давлении сжатия P_C . В самом деле, в эксплуатации на дизель невозможно установить устройство для автоматического поддержания заданного уровня величины P_C .

Поскольку данные снимались по позициям контроллера, все переменные содержат общую мешающую функциональную зависимость от числа оборотов коленчатого вала дизеля. Эта зависимость устраняется путем вычисления средних. Средние значения температуры и объясняющих переменных аппроксимируются нелинейными функциями (полиномами). В результате рассматриваются корреляции между отклонениями температурного коэффициента ZLP , температуры выпускных газов на выходе из цилиндра и объ-

ясняющих переменных от их средних, уже свободные от мешающего влияния общей переменной.

Таким образом, необходимо обрабатывать массивы данных, в которых нельзя указать независимую переменную, а внутри массива имеются заранее неизвестные корреляционные связи.

Использование в алгоритмах диагностики корреляций между средними за некоторый период времени (обычно за время диагностирования) значениями параметров рабочего процесса дизеля является известным приемом. Однако в публикациях по данной тематике для минимизации среднеквадратичного отклонения не использовались объясняющие переменные.

В качестве объясняющих переменных в уравнении полинома взяты основные параметры рабочего процесса, доступные из диагностической информации (в частности, из индикаторных диаграмм).

Отбор объясняющих переменных проводился посредством определения статистической значимости коэффициентов взаимной корреляции и отбрасыванием сильно коррелированных переменных, как не несущих новой информации [3, 57, 173, 175, 177].

Явление мультиколлинеарности возникает, когда между объясняющими (экзогенными) переменными существует достаточно тесная линейная статистическая зависимость.

Задача отбора линейно независимых переменных решалась методом пошагового отбора переменных - одним из методов устранения эффекта мультиколлинеарности.

Для этого необходимо иметь статистические данные о том, как часто та или иная неисправность обнаруживается при данном наборе диагностических признаков.

Зависимость вероятности определения неисправности от $P(i)=f(n_d, N_i, P_z, P_c, P_{EXP}, \alpha_{INJ}, f_{iINJ})$:

x_1 - n_d – частота вращения коленчатого вала дизеля, об/мин;

x_2 - N_i – индикаторная мощность в цилиндре, кВт;

- $x3 - P_Z$ – максимальное давления сгорания, кг/см²;
 $x4 - P_C$ – максимальное давление сжатия, кг/см²;
 $x5 - P_{EXP}$ – давление на линии расширения (36⁰ п.к.в. после ВМТ), кг/см²;
 $x6 - \alpha_{INJ}$ – угол опережения подачи топлива, ⁰п.к.в.;
 $x7 - \bar{f}_{INJ}$ – продолжительность подачи топлива, ⁰п.к.в.

С учетом ранее выбранных для исследования параметров вектор коэффициента корреляции будет иметь вид:

$$V_r = \begin{bmatrix} X, n_d \\ X, Ni \\ X, P_z \\ X, P_c \\ X, P_{exp} \\ X, \alpha_{INJ} \\ X, \bar{f}_{INJ} \end{bmatrix} \quad (4.16)$$

Далее было выполнено ранжирование основных ПРП по величине коэффициента корреляции:

$$r(X, ПРП_i) \Rightarrow \max = \begin{bmatrix} ПРП_i \\ \vdots \\ ПРП_n \end{bmatrix} \quad (4.17)$$

Особенности предлагаемого метода таковы: количество основных параметров можно изменять, при уменьшении числа основных параметров, оставлять наиболее значимые. При увеличении числа (добавлении новых) параметров таким же образом рассчитываются и добавляются в модель коэффициенты корреляции между исследуемой функцией (X) и новыми параметрами.

Кроме того, разработанная методика, используя теорию подобия ДВС, позволяет применять один набор основных параметров для различных типов дизелей. Например, если для дизеля 1А-5Д49 набор основных параметров имеет вид ($n_d, Ni, P_z, P_c, P_{EXP}, \alpha_{INJ}, \bar{f}_{INJ}$), то и для дизелей 2А-5Д49, 2-2Д49 и 3А-6Д49 он будет такой же.

Для диагностических целей следует выбирать линейно независимые переменные, поскольку линейная зависимость в наборе переменных означает, что одна или несколько переменных не несут новой информации и должны быть исключены. Также необходимо отметить, что в первично выбранные данные априорная информация входить не должна.

Рассогласование между результатами прямого и косвенного измерения представлено зависимостью вида:

$$X = T_{\text{термопары}} - k \cdot ZLP \quad (4.18)$$

С учетом того, что исследуемые зависимости имеют нелинейный характер, а также отклонения от функциональной связи помимо случайных составляющих имеют составляющую вызванную режимами работы дизеля, выражение примет вид:

$$X = T_{\text{термопары}} - (a_0 + a_1 \cdot ZLP + a_2 \cdot ZLP^2) \quad (4.19)$$

где $a_0 - a_2$ – коэффициенты полинома;

$$a_0 = f(n_d, Ni, P_Z, P_C, P_{\text{EXP}}, \alpha_{\text{INJ}}, f_{\text{INJ}})$$

$$a_1 = f(n_d, Ni, P_Z, P_C, P_{\text{EXP}}, \alpha_{\text{INJ}}, f_{\text{INJ}})$$

$$a_2 = f(n_d, Ni, P_Z, P_C, P_{\text{EXP}}, \alpha_{\text{INJ}}, f_{\text{INJ}})$$

$$a_0 = k_0 + k_1 \cdot n_d + k_2 \cdot Ni + k_3 \cdot P_Z + k_4 \cdot P_C \dots$$

В данное уравнение входят только наиболее значимые коэффициенты из множественной регрессии. Характер влияния объясняющих переменных на анализируемый параметр может быть различным, возможные варианты показаны на рисунке 4.2.

Анализ данного рисунка показал что, даже некоторые значимые параметры следует отбрасывать, если их влияние носит немонотонный характер.

Средняя линия графика получена усреднением множества опытных кривых (см. рисунок 4.3), причем отклонения каждой опытной кривой от средней линии считается вызванным влиянием объясняющих переменных и неучтенных случайных факторов. График искомой функции показан на рисунке 4.4.

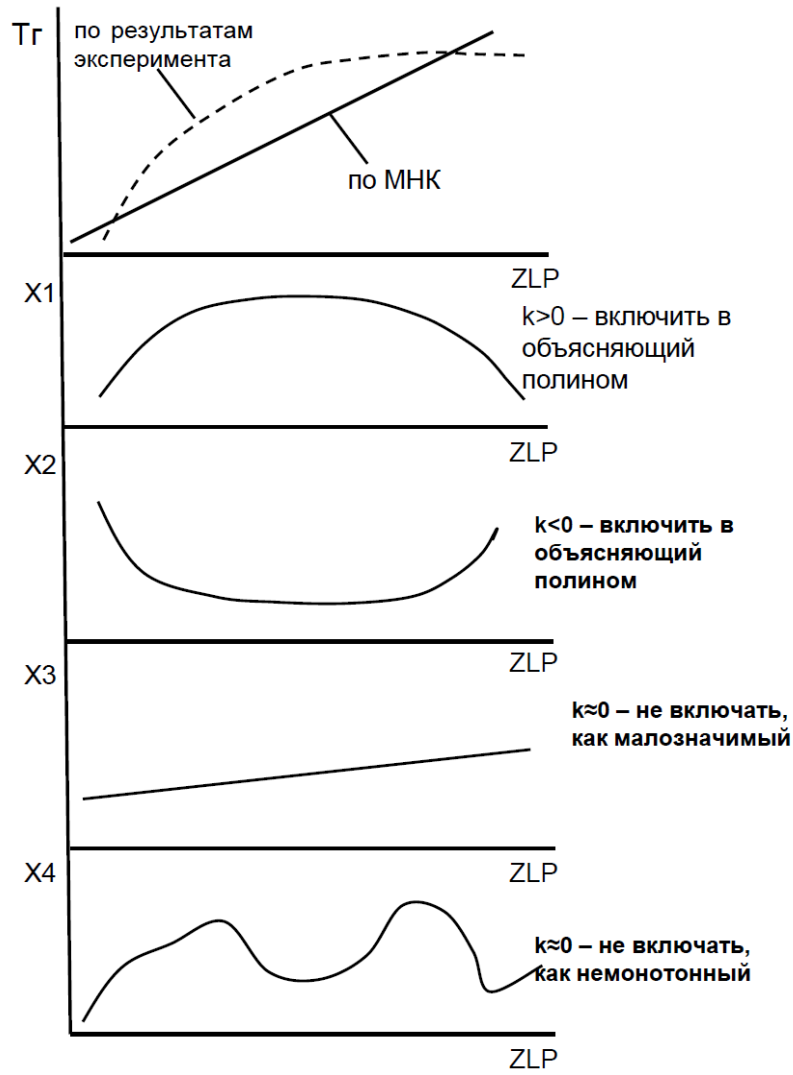


Рисунок 4.2 – Критерии отбора объясняющих переменных

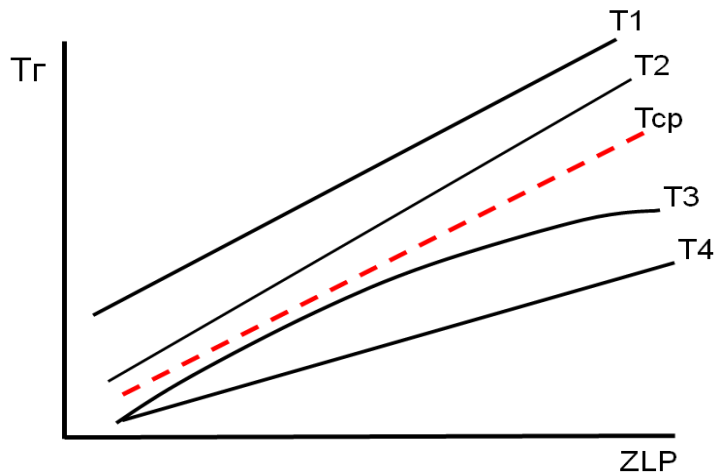


Рисунок 4.3 – Набор опытных кривых

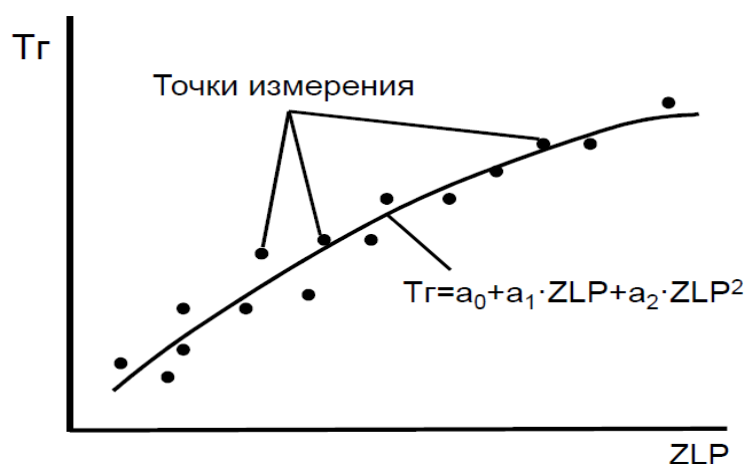


Рисунок 4.4 – Общий вид связи между результатами прямых и косвенных измерений температуры газов по цилиндрам

Таким образом, основное уравнение исследуемой зависимости с учетом объясняющих переменных имеет вид:

$$T_{\text{термопары}} = T_{\text{ДАТЧ}} + \Delta T(n_{\text{д}}, Ni, P_Z, P_C, P_{\text{EXP}}, \alpha_{\text{INJ}}, fi_{\text{INJ}}) \approx \quad (4.20)$$

$$\approx T_{\text{ДАТЧ}} + k_1 \cdot n_{\text{д}} + k_2 \cdot Ni + k_3 \cdot P_Z + k_4 \cdot P_C + k_5 \cdot P_{\text{EXP}} + k_6 \cdot \alpha_{\text{INJ}} + k_7 \cdot fi_{\text{INJ}} + \varepsilon$$

где $T_{\text{термопары}}$ – температура термопары в момент измерения, характеризующая температуру газов на выходе из цилиндра;

$T_{\text{ДАТЧ}}$ – относительная величина температуры датчика, отражаемая коэффициентом ZLP;

ΔT – отклонение измеренной температуры датчика от температуры газов, связанное с изменением основных (выбранных) параметров рабочего процесса;

$k_1 - k_7$ – коэффициенты, отражающие степень влияния основных (выбранных) параметров рабочего процесса;

$n_{\text{д}}$ – частота вращения коленчатого вала дизеля, об/мин;

Ni – индикаторная мощность в цилиндре, кВт;

P_Z – максимальное давления сгорания, кг/см²;

P_C – максимальное давление сжатия, кг/см²;

P_{EXP} – давление на линии расширения (36⁰ п.к.в. после ВМТ), кг/см²;

α_{INJ} – угол опережения подачи топлива, ⁰ п.к.в;

fi_{INJ} – продолжительность подачи топлива, ⁰ п.к.в;

ε – остаточное отклонение функции перечисленных параметров, в общем нелинейной, от её линейного приближения (обуславливается тем, что выбранная модель линейна, а моделируемый объект нелинеен).

Коэффициенты полинома $a_0 - a_2$ подбираются методом наименьших квадратов (МНК).

Выбираем МНК, поскольку для коэффициентов полинома при нормальном законе распределения отклонений величин T и ZLP от своей функциональной связи даст несмещенные эффективные и состоятельные оценки.

Коэффициенты уравнения кривой находятся из решения матричного уравнения вида:

$$a \cdot M = b \quad (4.21)$$

$$a = b \cdot M^{-1} \quad (4.22)$$

где M^{-1} – обратная матрица.

Или

$$\begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_m \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n (x_i)^2 & \dots & \sum_{i=1}^n (x_i)^m \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n (x_i)^2 & \sum_{i=1}^n (x_i)^3 & \dots & \sum_{i=1}^n (x_i)^{m+1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_{i=1}^n (x_i)^m & \sum_{i=1}^n (x_i)^{m+1} & \sum_{i=1}^n (x_i)^{m+2} & \dots & \sum_{i=1}^n (x_i)^{2m} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i \\ \sum_{i=1}^n (x_i)^2 \cdot y_i \\ \sum_{i=1}^n (x_i)^m \cdot y_i \end{bmatrix} \quad (4.23)$$

С учетом ранее выбранных для исследования параметров, получим:

$$\begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{pmatrix} \cdot \begin{bmatrix} n & \sum_{i=1}^n ZLP_i & \sum_{i=1}^n ZLP_i^2 \\ \sum_{i=1}^n ZLP_i & \sum_{i=1}^n ZLP_i^2 & \sum_{i=1}^n ZLP_i^3 \\ \sum_{i=1}^n ZLP_i^2 & \sum_{i=1}^n ZLP_i^3 & \sum_{i=1}^n ZLP_i^4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n Tz_i \\ \sum_{i=1}^n ZLP_i \cdot Tz_i \\ \sum_{i=1}^n ZLP_i^2 \cdot Tz_i \end{bmatrix} \quad (4.24)$$

Поскольку измерения производятся по позициям контроллера машиниста, получаем ряд значений исследуемой зависимости вида:

$$X_i = f(iPKM) = f(n_D) \quad (4.25)$$

где $i=0 \dots 15$ – номер ПКМ.

Таким образом, получаем три вектора – рассогласования X ; температуры термопары в момент измерения $T_{\text{термопары}}$; коэффициента относительной температуры датчика ZLP. Векторы имеют вид:

$$v_{ZLP} = \begin{bmatrix} ZLP_0 \\ ZLP_1 \\ \vdots \\ ZLP_{15} \end{bmatrix} \quad v_{T_T} = \begin{bmatrix} T_0 \\ T_1 \\ \vdots \\ T_{15} \end{bmatrix} \quad v_X = \begin{bmatrix} X_0 \\ X_1 \\ \vdots \\ X_{15} \end{bmatrix}$$

Была оценена теснота связи между рассогласованием X и основными (выбранными) параметрами рабочего процесса в цилиндре дизеля (ПП_{*i*}) по величине коэффициента корреляции $r=f(X, \text{ПП}_i)$. Порог, когда необходимо исключить из рассмотрения ненужные переменные, определяется критерием Фишера.

4.3 Методика регистрации и обработки экспериментальных данных

Анализ ранее проведенных функциональных исследований показал, что незначительные изменения некоторых функциональных параметров в малой степени влияют на измерение $t_{Ц}$, а следовательно и исследуемого параметра $ZLP=f(t_{Ц})$. Таким образом, можно сказать, что в данных теоретико-экспериментальных исследованиях необходимо отдавать приоритет наиболее точному методу и аппаратуре для регистрации показаний.

Измерения проводятся при наборе нагрузки дизелем до номинальной мощности после выхода на установившийся режим (приблизительно через 5-10 сек после смены ПКМ). Однако из-за инерционности работы термопар пирометрического комплекта для получения более точных данных измерения желательно проводить через 1 мин (проводить измерения температуры, как при наборе, так и при уменьшении каждой ПКМ).

Для получения более точных данных необходимо снимать несколько показаний (3-5 шт.) на каждом режиме работы (ПКМ).

Испытания проводились в несколько этапов.

На первом этапе исследований для установления исходной зависимости измерения необходимо производить на цилиндре дизеля, имеющем удовле-

творительные параметры (отклонения основных параметров) рабочего процесса, параметры работы и техническое состояние ЦПГ, ТА и МГР. Это необходимо для того чтобы исключить влияние данных параметров на исследуемую зависимость $ZLP=f(t_{Ц})$.

Основной задачей, решаемой на втором этапе, являлось установление зависимости исследуемой функции от отклонений вышеперечисленных параметров.

Был произведен расчёт коэффициентов корреляции между исследуемой величиной и первично отобранными функциональными параметрами. Выделение наиболее значительных параметров производилось на основе выбора наибольших значений коэффициента корреляции.

Также были рассчитаны коэффициенты корреляции между выделенными параметрами.

Выбор функциональных параметров влияющих на исследуемую зависимость $t_{Ц}=f(ZLP)$, $ZLP=f(t_{Ц}, n, P_z, F_{i\ inj}, P_{exp})$ был выполнен с помощью метода нелинейной парной регрессии.

Для обработки и анализа полученных данных был составлен алгоритм в вычислительной среде MSExcel.

Задачей 3-го этапа является установление связи между исследуемой величиной и справочными зависимостями $t_{Цmin}$ и $t_{Цmax}$, а также с функциональными параметрами, выбранными на втором этапе. При расчетах был также применен метод нелинейной парной регрессии.

На четвертом этапе было произведено повторное экспериментальное снятие показаний (параметров рабочего процесса) и статистическое накопление данных с тепловозного дизеля 2А-5Д49 системой СМДд.

Для измерения температуры теплоносителей дизеля (вода, масло, воздух и отработанные газы) используются термоэлектрические преобразователи (термопары). Для бортовых, измерительных и диагностических систем, а также для стационарных и переносных средств контроля и диагностики применяются термопары типа ТХК (хромель-копель) и ТХА (хромель-алюмель).

Для контроля температур отработавших газов на дизелях типа 5Д49 применяются термопары типа ТХА-410 или ТХА-1127Р (в бортовой диагностической системе МСУ-Т).

Совместно с индицированием каждого цилиндра производилось измерение температуры выхлопных газов на выходе из цилиндра с помощью калиброванной термопары типа ТХА-410.

Связь температуры, измеренной термопарой, с термо-ЭДС на ее зажимах, принималась согласно ГОСТ Р 8.585-2001 [51].

Пятый этап исследований включал в себя выбор и составление уравнения зависимости исследуемого параметра ZLP от выделенных показателей рабочего процесса и осуществлялся с помощью метода множественной регрессии.

Для регистрации температуры выпускных газов (термо-э.д.с.) было разработано устройство, позволившее регистрировать температуру и термо-э.д.с. выпускных газов.

4.4 Результаты экспериментальных исследований

Измерения проводились в процессе проведения эксплуатационных испытаний системы СМДд и механотестера МТА-2 в депо Елец в период с 05.2010 по 05.2015 г. Испытания проводились на дизель-генераторных установках 2А-9ДГ и 1А-9ДГ тепловозов ТЭП70 и ТЭП70БС, 2ТЭ116 при прохождении ими различных видов ТО и ТР [93].

Измерения проводились в соответствии с разработанной методикой при наборе мощности с 0 по 15 ПКМ. Продолжительность получения данных с каждого цилиндра составила от 25 до 30 мин.

В качестве исходных данных для дальнейшего анализа были использованы сводные отчеты, полученные с помощью системы СМДд, представленные в приложении А.

Результаты проведенных измерений температуры выпускных газов (E_t) и температурного коэффициента (ZLP) датчика давления PS-16 системы СМДд представлены на рисунках 4.5 и 4.6.

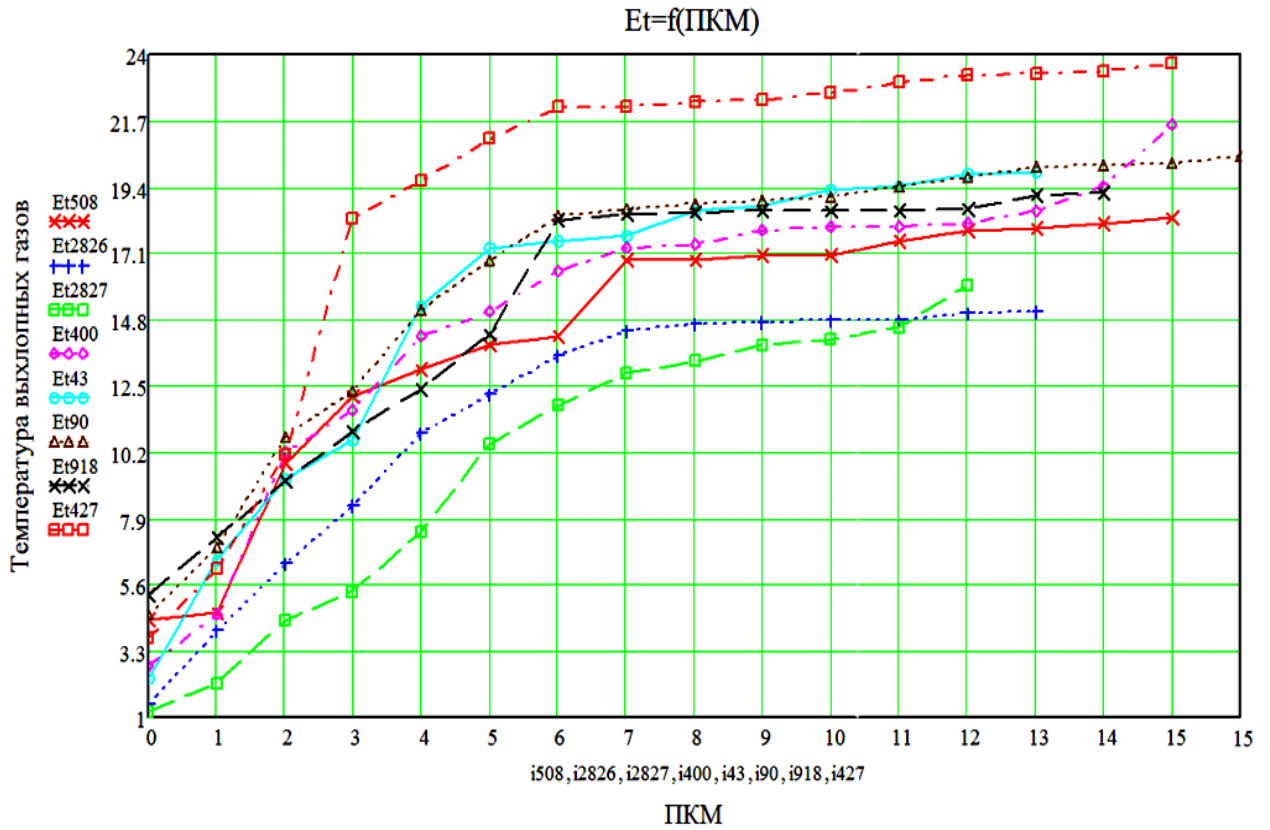


Рисунок 4.5 – График функции $E_t=f(\text{ПКМ})$

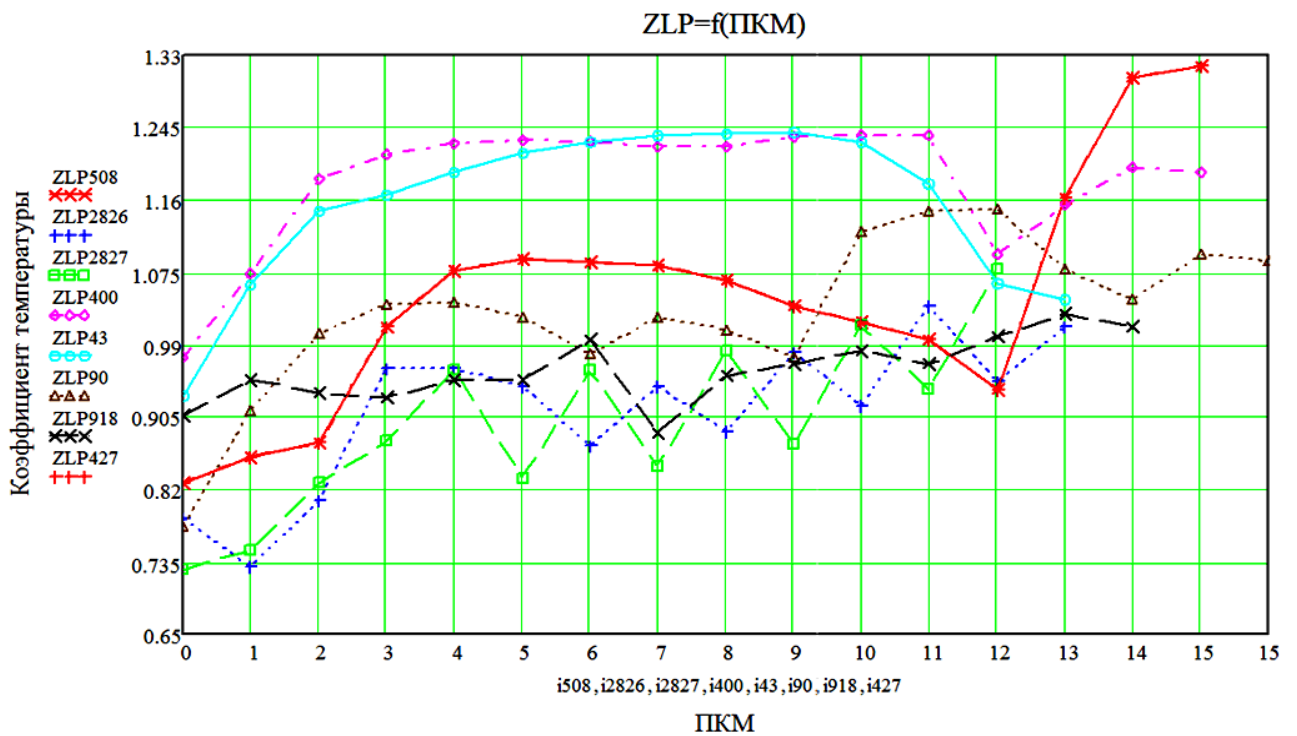


Рисунок 4.6 – График функции $ZLP=f(\text{ПКМ})$

4.5 Анализ результатов

4.5.1 Проверка состоятельности регрессии и выбор значимых объясняющих переменных

На первом этапе испытаний было проведено измерение на цилиндре 5Л дизеля тепловоза ТЭП70-0509 при наборе нагрузки 0-15ПКМ с нагружением ДГУ на тормозные резисторы электродинамического торможения (ЭДТ). Графики изменения основных параметров рабочего процесса, а также исследуемой величины температурного коэффициента ZLP, полученные системой СМДд представлены на рисунках 4.7 и 4.8.

Далее выполнена оценка достоверности коэффициента корреляции (r), отражающего степень связи между двумя переменными.

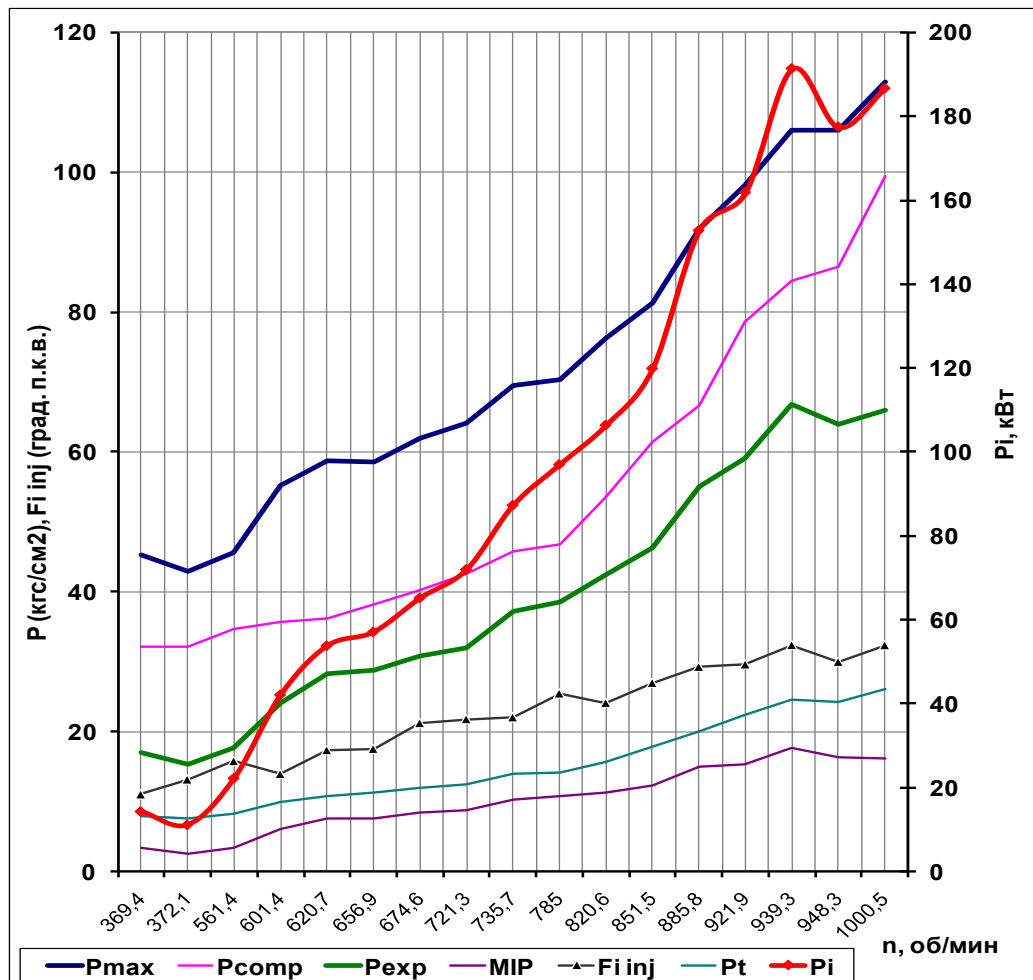


Рисунок 4.7 – Изменение основных параметров рабочего процесса дизеля тепловоза ТЭП70-0509

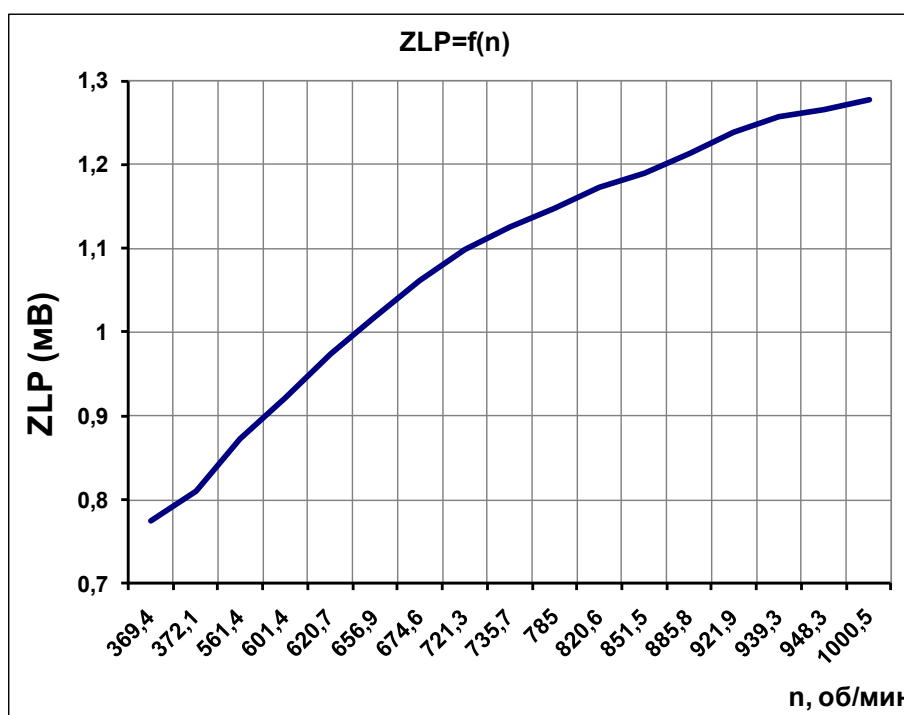


Рисунок 4.8 - График изменения исследуемой функции ZLP=f(n)

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n ((x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y}))}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (4.26)$$

где $\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i$, $\bar{y} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n y_i$ - среднеарифметические значения полученных выборок (массивов данных) x и y.

Расчетные значения первичных функциональных параметров \bar{x} , \bar{y} и $r = f(ZLP)$ приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1.

ZLP=	f(n)	f(P _Z)	f(P _C)	f(P _{EXP})	f(fi inj)	f(P _{C'})	f(MIP)	f(P _i)
\bar{x}	733,318	73,206	53,806	39,329	22,5382	52,435	10,137	95,118
\bar{y}	1,0835	1,0835	1,0835	1,0835	1,0835	1,0835	1,0835	1,0835
$r = f(ZLP)$	0,9850	0,9274	0,8538	0,9395	0,9719	0,8706	0,9647	0,9449

Проверка значимости оценки коэффициента корреляции

H_0 : Основная гипотеза говорит о незначимости линейной связи, т.е. $r = 0$.

Если $\frac{|r| \cdot \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}} > t_{\alpha/2}(n-2)$, то гипотеза H_0 отвергается.

В этом выражении $t_{\alpha/2}(n-2)$ - это $\alpha/2$ -процентная точка распределения Стьюдента с $(n-2)$ степенями свободы.

Рассчитанные левая и правая части неравенства приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2.

ZLP=	f(n)	f(P _Z)	f(P _C)	f(P _{EXP})	f(fi inj)	f(P _{C'})	f(MIP)	f(P _I)
$\frac{ r \cdot \sqrt{n-2}}{\sqrt{1-r^2}}$	21,3443	9,2770	6,1366	10,2663	15,4463	6,6204	13,6976	10,8013
$t_{\alpha/2}(n-2)$	2,1448	2,1448	2,1448	2,1448	2,1448	2,1448	2,1448	2,1448

Как видно из таблицы 4.2 между исследуемой функциональной зависимостью ZLP и всеми первично отобранными функциональными параметрами существует линейная связь, представляемая в виде:

$$Et = Et_i + a_1 \cdot n + a_2 \cdot P_z + a_3 \cdot P_{exp} + a_4 \cdot fi \text{ inj} + a_5 \cdot P_c + a_6 \cdot \alpha_{INJ} + a_7 \cdot Ni + a_8 \cdot ZLP \quad (4.27)$$

Качество линейной регрессии

Для оценки качества регрессии используется коэффициент детерминации.

Коэффициент детерминации характеризует долю дисперсии результативного признака y , объясняемую регрессией.

$$D = \frac{ESS}{TSS} = 1 - \frac{D_\varepsilon}{D_y} \quad (4.28)$$

где $TSS = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = D(y) = \sigma_y^2$ - общая сумма квадратов отклонений (Total);

$ESS = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (a_0 + a_1 x_i - \bar{y})^2$ - сумма квадратов отклонений, объясняемая регрессией (Explained);

$RSS = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1 x_i)^2 = D(\varepsilon) = \sigma_\varepsilon^2$ - остаточная сумма квадратов отклонений (не объясняемая регрессией - Residue).

Рассчитанные значения величин TSS, ESS, RSS и коэффициента детерминации D приведены в таблице 4.3.

Таблица 4.3.

ZLP=	f(n)	f(P _Z)	f(P _C)	f(P _{EXP})	f(fi inj)	f(P _{C'})	f(MIP)	f(P _i)
TSS	0,0265	0,0265	0,0265	0,0265	0,0265	0,0265	0,0265	0,0265
ESS	0,0257	0,0228	0,0193	0,0234	0,0251	0,0201	0,0247	0,0237
RSS	0,00079	0,00371	0,00719	0,00311	0,00147	0,00643	0,00184	0,00284
D	0,9702	0,8601	0,7290	0,8827	0,9446	0,7579	0,9306	0,8929

Проверка состоятельности регрессии

Для проверки состоятельности регрессии используется F-тест Фишера:

H₀: основная гипотеза говорит о незначимости коэффициента детерминации, т. е. D = 0 (или a₁ = 0).

Если $\frac{ESS \cdot (n-2)}{RSS} > v_{\alpha}(1, n-2)$, то гипотеза H₀ отвергается.

В этом выражении v_α - это α-процентная точка распределения Фишера с (1, n-2) степенями свободы.

Рассчитанные левая и правая части неравенства F-теста Фишера приведены в таблице 4.4.

Таблица 4.4.

ZLP=	f(n)	f(P _Z)	f(P _C)	f(P _{EXP})	f(fi inj)	f(P _{C'})	f(MIP)	f(P _i)
$\frac{ESS \cdot (n-2)}{RSS}$ > v _α (1, n-2)	455,580	86,063	37,658	105,397	238,587	43,830	187,625	116,669
$\frac{ESS \cdot (n-2)}{RSS}$ > v _α (1, n-2)	4,600	4,600	4,600	4,600	4,600	4,600	4,600	4,600

Из анализа полученных данных таблицы 4.4. видно, что обе гипотезы отвергаются для всех первично отобранных параметров. Это говорит о значимости коэффициентов регрессии. Таким образом, регрессию можно считать состоятельной.

По результатам оценки полученных значений коэффициентов детерминации D были выделены основные функциональные параметры, наиболее влияющие на исследуемую зависимость $ZLP=f(t_{Ц})$. В качестве этих параметров были выделены следующие: n , P_z , $f_{i\text{inj}}$, P_{exp} , MIP , P_i .

Из этих параметров, прошедших проверку на значимость должны быть отброшены линейно зависимые, как не несущие дополнительной информации.

При наличии значительной корреляции между какой-либо пары объясняющих переменных, из этой пары отбирается одна переменная (наименее коррелированная остальными).

Для этого строилась матрица взаимной корреляции параметров и с ее помощью устранялась мультиколлинеарность.

4.5.2 Построение объясняющего полинома

Уравнение линии общей зависимости температуры газов от температурного коэффициента:

$$y = a_0 + a_1 * x + a_2 * x^2 + \dots + a_i * x^i \quad (4.29)$$

Далее надо построить среднюю зависимость $Et=f(ZLP)$ по всем протестированным тепловозам и провести аппроксимацию средней линии. Для этого используем метод нахождения средних значений Et и ZLP по средневековой формуле по каждой i -той позиции контроллера машиниста.

$$Et_i = \frac{Et_{508_i} + Et_{2826_i} + Et_{2827_i} + Et_{400_i} + Et_{43_i} + Et_{90_i} + Et_{427_i} + Et_{918_i}}{q}, \quad (4.30)$$

$$ZLP_i = \frac{ZLP_{508_i} + ZLP_{2826_i} + ZLP_{2827_i} + ZLP_{400_i} + ZLP_{43_i} + ZLP_{90_i} + ZLP_{427_i} + ZLP_{918_i}}{q}, \quad (4.31)$$

где: q – количество значений, имеющих на каждой позиции контроллера машиниста;

Et_{508_i} - значение температуры выхлопных газов по цилиндру для конкретного тепловоза (ТЭП70-0508);

$ZLP508_i$ - значение оценки температуры, полученное устройством термокомпенсации датчика давления для конкретного тепловоза (ТЭП70-0508);

Все остальные значения температуры выхлопных газов и температурного коэффициента в числителе данной формулы относятся к остальным продиагностированным тепловозам.

Произведя расчеты по данной формуле, были получены значения средних точек зависимости температуры выхлопных газов от температурного коэффициента по каждой позиции контроллера. Значения средних точек представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 - Значения средней линии зависимости температуры выхлопных газов от температурного коэффициента по исходным данным всех диагностируемых тепловозов.

Et – ТермоЭДС, мВ	ZLP – Температурный коэффициент, мВ
3,91	0,84
4,81	0,897
8,47	0,96
11,21	1,02
13,48	1,04
15,13	1,033
16,79	1,05
17,91	1,036
18,31	1,05
18,34	1,037
18,24	1,07
17,94	1,06
18,02	1,031
20,41	1,055
19,04	1,092
20,19	1,155
18,94	1,089

Для дальнейших расчетов необходимо так же аппроксимировать среднюю линию, как было проделано над значениями Et и ZLP каждого тепловоза. И в результате получим график (см. рисунок 4.9) на котором представлены аппроксимированные зависимости каждого исследуемого тепловоза и средней линии.

По горизонтали значения коэффициента ZLP (мВ), по вертикали термо-ЭДС (мВ) штатных термопар типа ТХА-410.

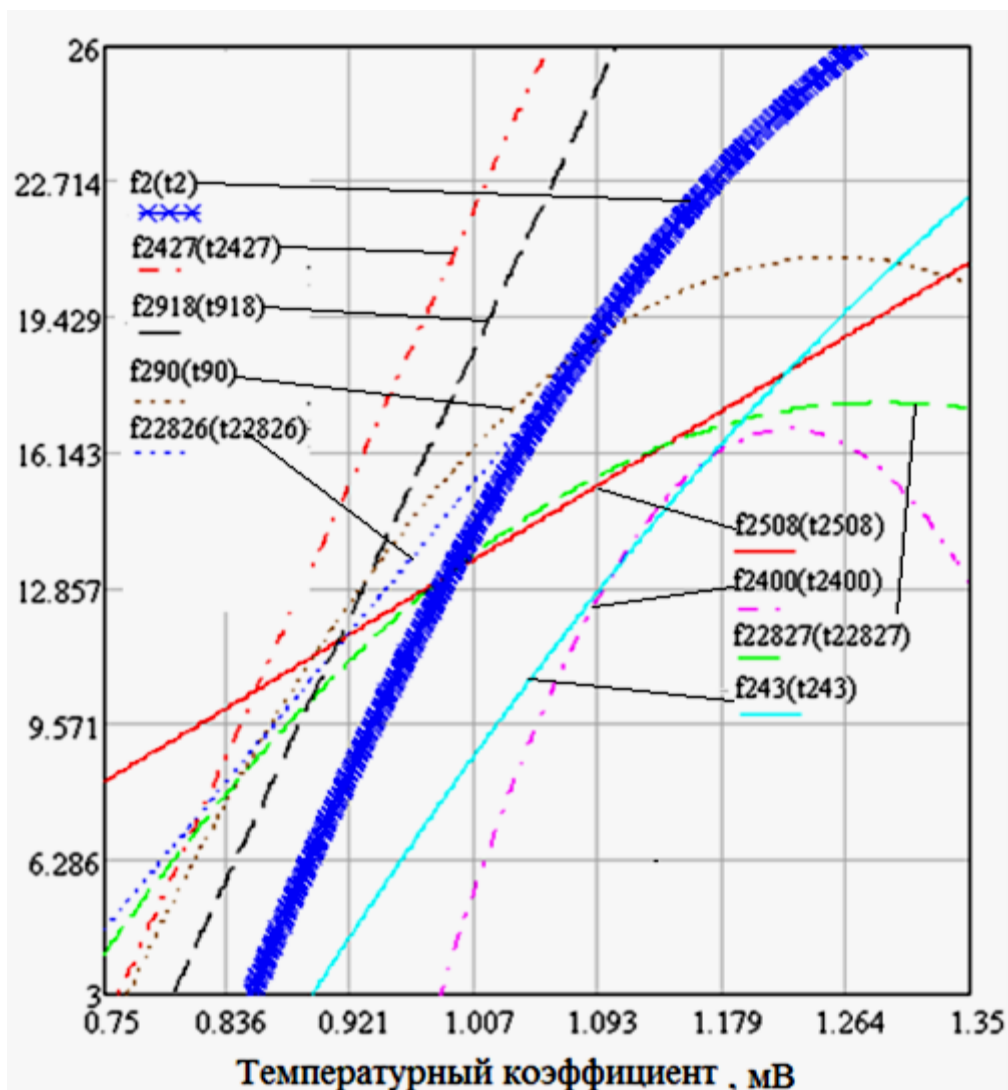


Рисунок 4.9 – Общий график зависимостей термо-ЭДС (мВ) термопар типа ТХА-410 от температурного коэффициента по всем тепловозам и средней линии

Целью аппроксимации являлось получение наиболее простой приближенной функции, описывающей связь между коэффициентом ZLP (мВ) и термо-ЭДС (мВ) штатных термопар типа ТХА-410 с точностью достаточной для диагностических применений.

Естественно эта точность не может быть выше точности средств измерения. Из этих соображений выбиралась степень аппроксимирующего полинома.

Полученные аппроксимирующие полиномы для продиагностированных тепловозов представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 - Аппроксимирующие полиномы

Тепловоз	Аппроксимирующий полином
ТЭП70-0508, цилиндр 7ПР	$Et_{5087} = -7,619 + 21,008 \cdot ZLP$
ТЭП70-0282, цилиндр 6ПР	$Et_{2826} = -27,224 + 42,353 \cdot ZLP$
ТЭП70-0282, цилиндр 7ПР	$Et_{2827} = -73,666 + 152,155 \cdot ZLP - 65,114 \cdot ZLP^2$
ТЭП70-0400, цилиндр 7ПР	$Et_{400} = -337,877 + 579,291 \cdot ZLP - 236,602 \cdot ZLP^2$
ТЭП70БС-043, цилиндр 4ПР	$Et_{43} = -110,35 + 188,515 \cdot ZLP - 68,361 \cdot ZLP^2$
ТЭП70БС-090, цилиндр 6ПР	$Et_{90} = -96,842 + 187,552 \cdot ZLP - 74,709 \cdot ZLP^2$
2ТЭ116-0918Б, цилиндр 4ПР	$Et_{918} = -56,695 + 74,796 \cdot ZLP$
ТЭП70-0427, цилиндр 5Л	$Et_{427} = -55,753 + 77,277 \cdot ZLP$
ТЭП70-0508, цилиндр 4Л	$Et_{5084} = -120,092 + 252,51 \cdot ZLP - 115,282 \cdot ZLP^2$
ТЭП0БС-078, цилиндр 2ПР	$Et_{782} = -257,537 + 456,619 \cdot ZLP - 181,356 \cdot ZLP^2$
ТЭП0БС-078, цилиндр 7ПР	$Et_{787} = -140,689 + 230,948 \cdot ZLP - 72,531 \cdot ZLP^2$

Были получены уравнения средней линии до применения объясняющих переменных вида:

$$Et = -113,055 + 196,029 \cdot ZLP - 70,472 \cdot ZLP^2$$

И после включения объясняющих переменных:

$$Et = -151,001 + 268,6 \cdot ZLP - 103,378 \cdot ZLP^2 \quad (4.32)$$

Как видно имеется расхождение между средними по каждому тепловозу и средним по всем тепловозам данной серии. Таким образом, выполнение диагностики на вновь диагностируемом тепловозе, по которому нет ранее полученной диагностической информации возможно со снижением достоверности по сравнению с тепловозом диагностировавшимся ранее неоднократно.

Для нахождения среднеквадратического отклонения с применением объясняющих переменных запишем его формулу:

$$\delta^2 = \sum_i^{ПКМ} (Et_i - (a1 \cdot n_i + a2 \cdot Pz_i + a3 \cdot Pexp_i + a4 \cdot fi_inj_i + a5 \cdot Pc_i + a6 \cdot \alpha_inj_i + a7 \cdot Ni_i + a8 \cdot ZLP_i))^2, \quad (4.33)$$

где: Et_i - значение температуры выхлопных газов средней линии;

$a1, a2, a3, a4, a5, a6, a7, a8$ - коэффициенты, отражающие степень значимости основных параметров рабочего процесса;

$n_i, Pz_i, Pexp_i, fi_inj_i, Pc_i, \alpha_inj_i, Ni_i, ZLP_i$ - объясняющие переменные;

В первую очередь необходимо найти коэффициенты, отражающие степень значимости основных параметров рабочего процесса. Для этого нужно составить систему уравнений, состоящую из 8-ми уравнений, по числу объясняющих переменных. Ввиду большого объема данных при нахождении коэффициентов объясняющих переменных, была использована программная среда «Microsoft Excel», ввиду её простоты в написании алгоритма вычислений по формуле:

$$\left(\begin{array}{l} \sum \frac{\delta}{\delta a1} = 2 \cdot \left[\sum Et_i - \left(a1 \cdot \sum n_i + a2 \cdot \sum Pz_i + \dots + a8 \cdot \sum ZLP_i \right) \right] \cdot \sum n_i \\ \sum \frac{\delta}{\delta a2} = 2 \cdot \left[\sum Et_i - \left(a1 \cdot \sum n_i + a2 \cdot \sum Pz_i + \dots + a8 \cdot \sum ZLP_i \right) \right] \cdot \sum Pz_i \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ \sum \frac{\delta}{\delta a8} = 2 \cdot \left[\sum Et_i - \left(a1 \cdot \sum n_i + a2 \cdot \sum Pz_i + \dots + a8 \cdot \sum ZLP_i \right) \right] \cdot \sum ZLP_i \end{array} \right) \quad (4.34)$$

Полученные значения снижения погрешности измерений при использовании объясняющих переменных представлены в таблице 4.7.

Для принятой степени полинома $n=2$ остаточное среднеквадратическое отклонение составляет 7,48 %.

Отсутствие информации по индивидуальным особенностям тепловоза и ранее накопленным диагностическим данным может привести к погрешности

измерения параметров до 24 % с соответствующим снижением достоверности диагноза.

Таблица 4.7 - Сравнение среднеквадратических отклонений при использовании объясняющих переменных и без них

Тепловоз	Снижение погрешности, %
ТЭП70-0508, цилиндр 7ПР	5,47%
ТЭП70-0282, цилиндр 6ПР	10,4%
ТЭП70-0282, цилиндр 7ПР	10,2%
ТЭП70-0400, цилиндр 7ПР	5,53%
ТЭП70БС-043, цилиндр 4ПР	9,69%
ТЭП70БС-090, цилиндр 6ПР	4,56%
2ТЭ116-0918Б, цилиндр 4ПР	11%
ТЭП70-0427, цилиндр 5Л	24,4%
ТЭП70-0508, цилиндр 4Л	17,27%
ТЭП0БС-078, цилиндр 2ПР	12,24%
ТЭП0БС-078, цилиндр 7ПР	12,06%

4.5.3 Представление отклонения каждого отдельного измерения от общей зависимости в виде полинома

Объясняющий полином выбран линейным ввиду ожидаемой сравнительно малости влияния объясняющих переменных на температуру, получаемую косвенным измерением. Коэффициент объясняющего полинома вычисляется методом наименьших квадратов.

$$T_{\text{термопары}} = a_0 + a_1 \cdot ZLP + a_2 \cdot ZLP^2 + k_1 \cdot n_D + k_2 \cdot Ni + k_3 \cdot P_Z + k_4 \cdot P_C + k_5 \cdot P_{\text{EXP}} + k_6 \cdot \alpha_{\text{INJ}} + k_7 \cdot f_{\text{INJ}} \quad (4.35)$$

Таков окончательный вид объясняющего полинома, используемый в дальнейшем при обработке диагностической информации.

По результатам экспериментальных исследований получена формула искомой зависимости:

$$Et = -151,001 + 268,6 \cdot ZLP - 103,378 \cdot ZLP^2 \quad (4.36)$$

По данной формуле была построена зависимость и наложена на одну координатную плоскость с эталонной, представленной на рисунке 4.10.

Была дана экспериментальная оценка величины температуры отработавших газов по величине косвенного показателя ZLP с применением разработанной методики.

В ходе проведенного расчетно-экспериментального моделирования было установлено, что качество объясняющего полинома оценивается снижением среднеквадратического отклонения результатов прямого измерения температуры газов от результатов косвенного измерения с привлечением объясняющих переменных и без него, что говорит о целесообразности использования данного метода, снижающего погрешность при проведении обработке исходных данных.

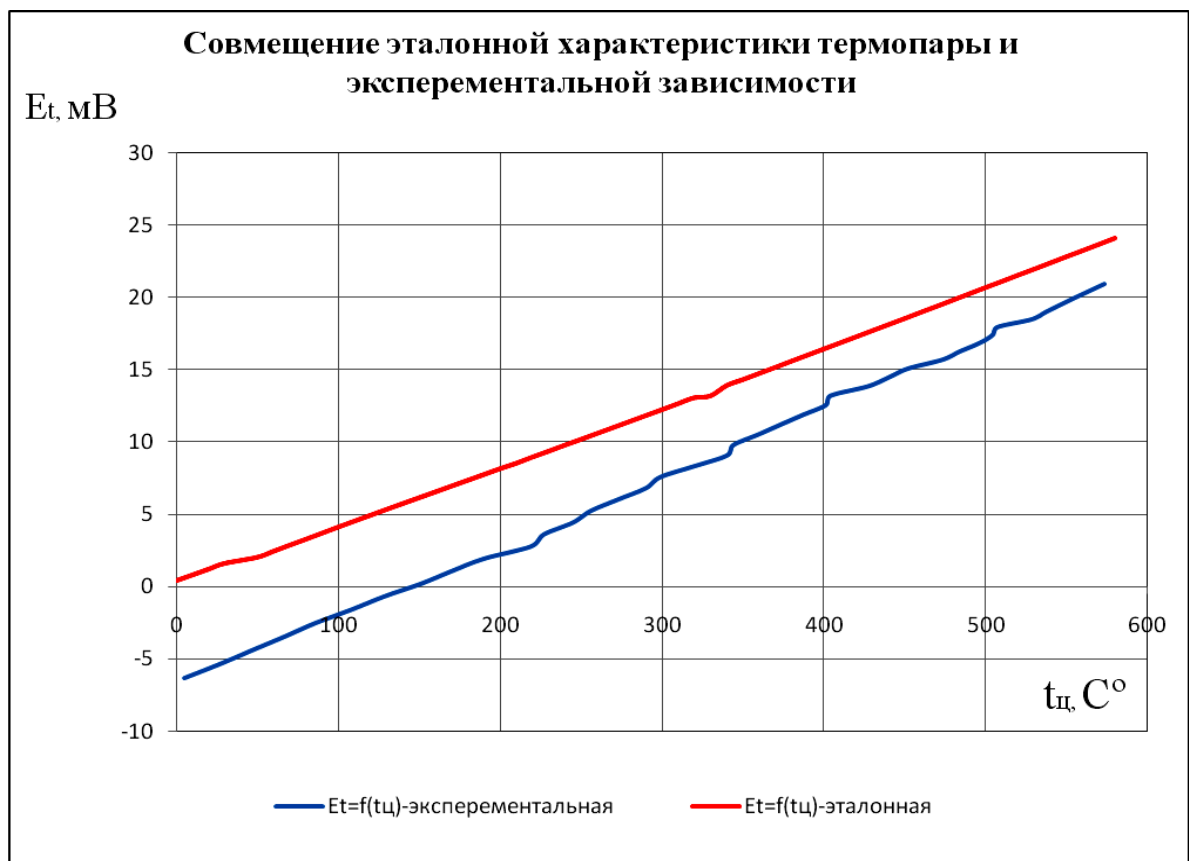


Рисунок 4.10 – Совмещение эталонной характеристики термопары и экспериментальной зависимости

Проверка стабильности предложенной методики показала, малую разницу между полученными уравнениями функциональной зависимости

$E_t=f(ZLP)$ при 8 и 11 рядах полученных экспериментальных данных, т.е. предложенная методика обеспечивает устойчивую повторяемость (см. рисунок 4.11)

Проанализировав полученные зависимости, видно, что расхождение кривых сравнительно мало, следовательно, можно считать, что возможно использование деталей датчика давления в качестве датчика температуры. При этом получаемая функция сравнительно мало отклоняется от линейной. Различные реализации этой функции имеют малые расхождения.

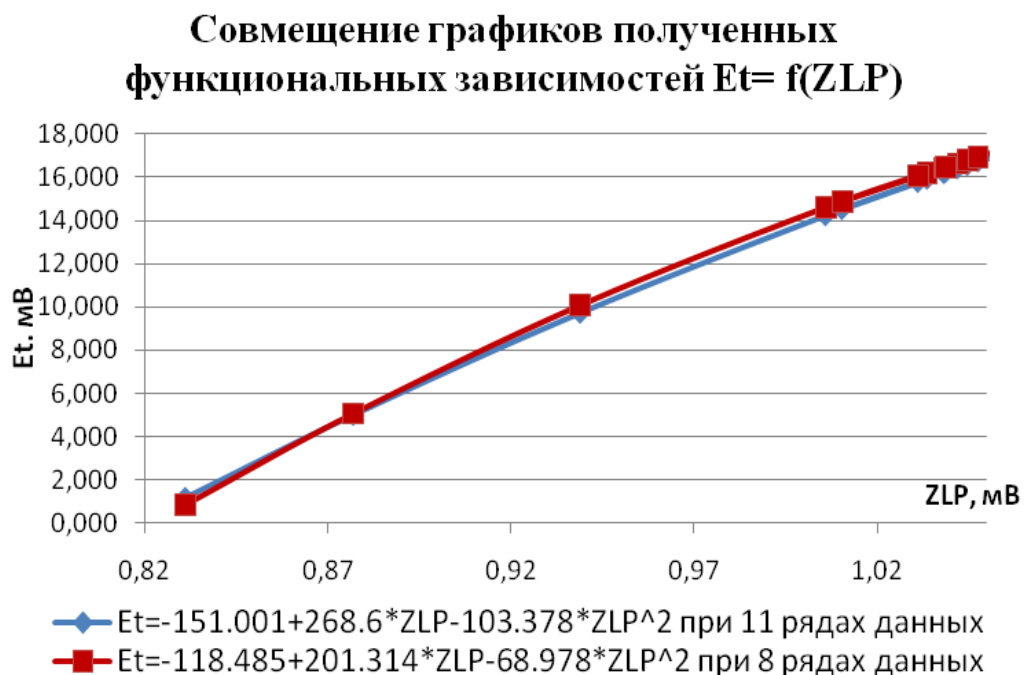


Рисунок 4.11.

4.6 Сопоставление результатов экспериментальных исследований с результатами математического моделирования

Сравнение экспериментально полученной зависимости проводилось с результатами моделирования рабочего процесса дизеля 2А-5Д49 в программной комплексе «ДИЗЕЛЬ-РК» [80, 81].

Исходными данными для моделирования являлись результаты заводских стендовых испытаний дизеля по тепловозной характеристике [55].

Режимы работы при моделировании были определены в соответствии с тепловозной характеристикой.

Поскольку у характеристики дизеля 2А-5Д49 на 1ПКМ является позицией маневрового режима, а в программе «ДИЗЕЛЬ-РК» набор режимов составляет 10 штук для моделирования, были выбраны следующие режимы по позициям контроллера машиниста 0, 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 15.

Программа «ДИЗЕЛЬ-РК» предназначена для расчета и оптимизации двухтактных и четырехтактных двигателей внутреннего сгорания.

По табличным данным построена графическая характеристика термопары хромель-алюмель для удобства и быстроты определения величина температуры по величине термо-ЭДС термопары графическую характеристику нужно аппроксимировать полиномом.

Для сравнения и выбора полиномов принят максимальный диапазон значений величины $ZLP=0,8\div 1,3$, достигнутых в ходе экспериментальных исследований. В этом диапазоне было рассчитано значение функции E_t по полученной ранее зависимости

$$E_t = -151,001 + 268,6 \cdot ZLP - 103,378 \cdot ZLP^2$$

и по табличным значениям было восстановлено значение температуры. Далее был произведен расчет величины температуры t по полученным полиномам.

Для перевода значений полученной, по косвенному значению температурного коэффициента ZLP датчика давления PS-16 системы СМДд, величины термо-ЭДС в величину температуры выхлопных газов был выбран аппроксимирующий полином для графической характеристики термопары типа ТХА-410, построенной по эталонным табличным значениям [60]. Получение уравнения аппроксимирующего полинома производилось в пакете MS Excel 2007 с помощью функции «Линия тренда». Был получен линейный полином вида $E_t = 0,041445 \cdot T - 0,117631$, с достоверностью аппроксимации $R^2 = 0,999837$.

По результатам моделирования был получен набор диаграмм изменения температуры в цилиндре по углу поворота коленчатого вала (см. рисунок 4.12).

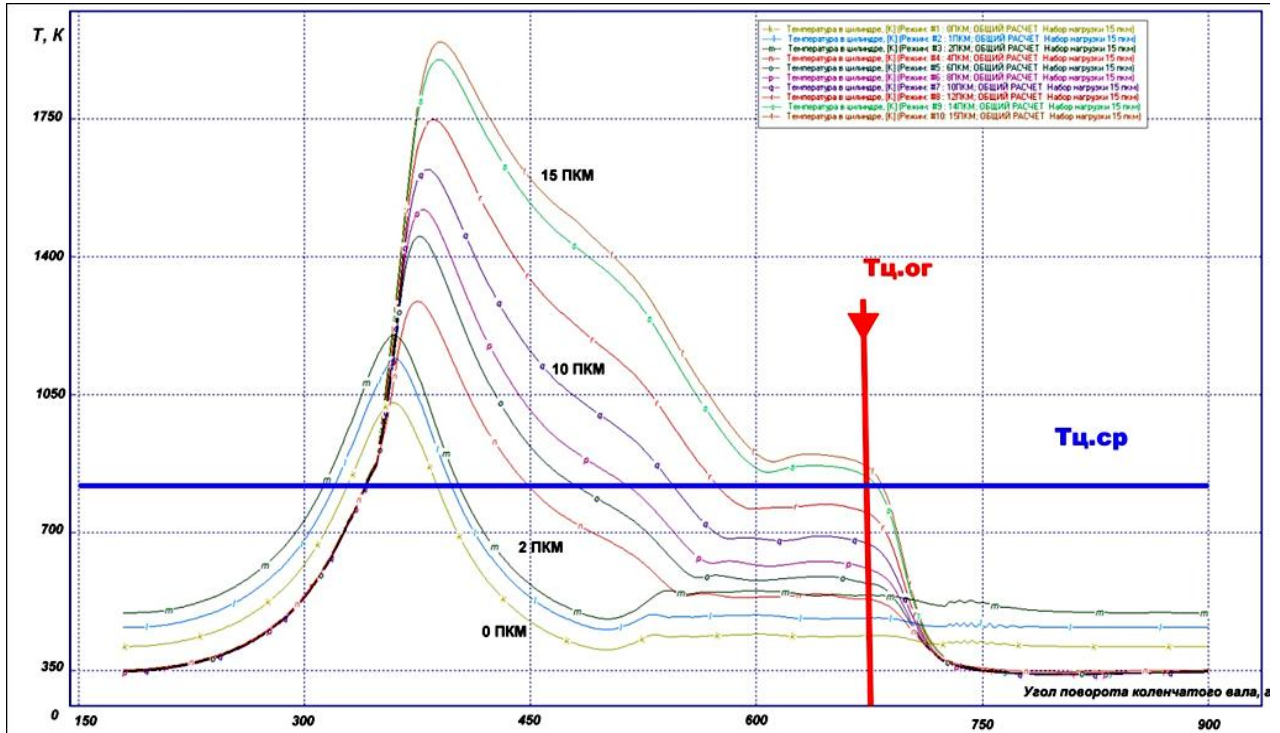


Рисунок 4.12 - Температура в цилиндре на 0,1,2,4,6,8,10,12,14 и 15ПКМ
Сравнение экспериментальных данных и результатов моделирования
представлены на рисунках 4.13-4.14.

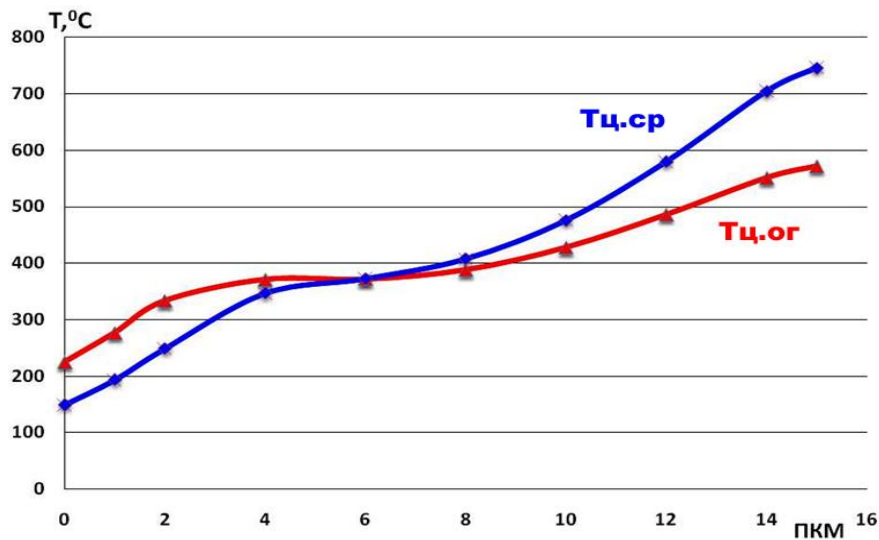


Рисунок 4.13 -Графики изменения средней температуры в цилиндре $T_{ц.ср}$ и средней температуры газов на выходе из цилиндра $T_{ц.ог}$

Математическое моделирование дает теоретические кривые, по которым вычисляется среднее за цикл значение, которое является средней температурой за цикл т.е. средняя температура газов ($T_{ц.ср}$) выбиралась усреднением

за время цикла, температура отработавших газов (Тог) выбиралась по теоретической кривой в определенный момент времени (открытие выпускных клапанов).

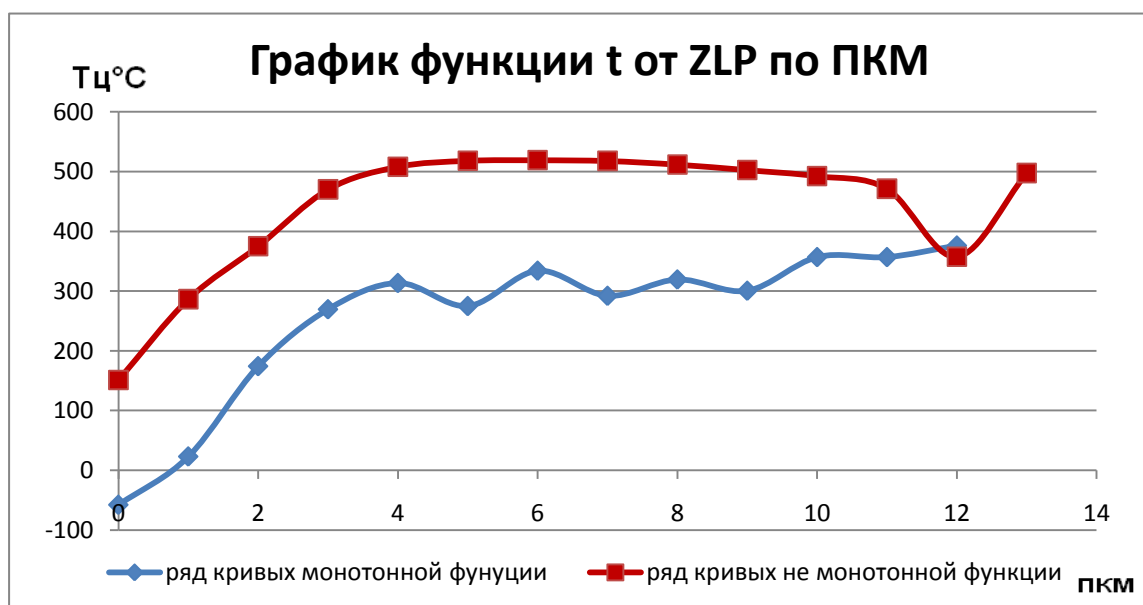


Рисунок 4.14 -График функции $t=f(ZLP)$ по ПКМ

По результатам моделирования «Дизель–РК» особенные формы тепловой характеристики тепловозов надо учитывать при проведении оперативной диагностики.

Немонотонность обусловлена тем, что на низких ПКМ турбокомпрессор работает с нарушением баланса мощности, а достигает баланса на 10-12 ПКМ, что отражается на работе дизеля, поэтому существует диапазон, где система диагностики будет работать наиболее точно. Минимальное влияние турбокомпрессора на дизель создает помех диагностике. При достижении баланса турбокомпрессор начинает искажать диагностическую информацию о параметрах рабочего процесса (см. рисунки 4.15 – 4.16).

Показания, противоречащие техническому смыслу задачи при обработке данных должны быть отброшены. Так, показания датчика с отрицательной температурой на холостом ходу, очевидно, не соответствуют действительности и не могут включаться в выборку, причиной является неисправность дизеля, например отсутствие вспышек в цилиндре на холостом ходу.

Совмещение кривых (см. рисунок 4.17) показывает, что есть заметная корреляция, в целом функцию можно охарактеризовать так: быстрый рост вначале до 5 ПКМ, сменяется малым изменением до 7 позиции и очень небольшим снижением в дальнейшем.

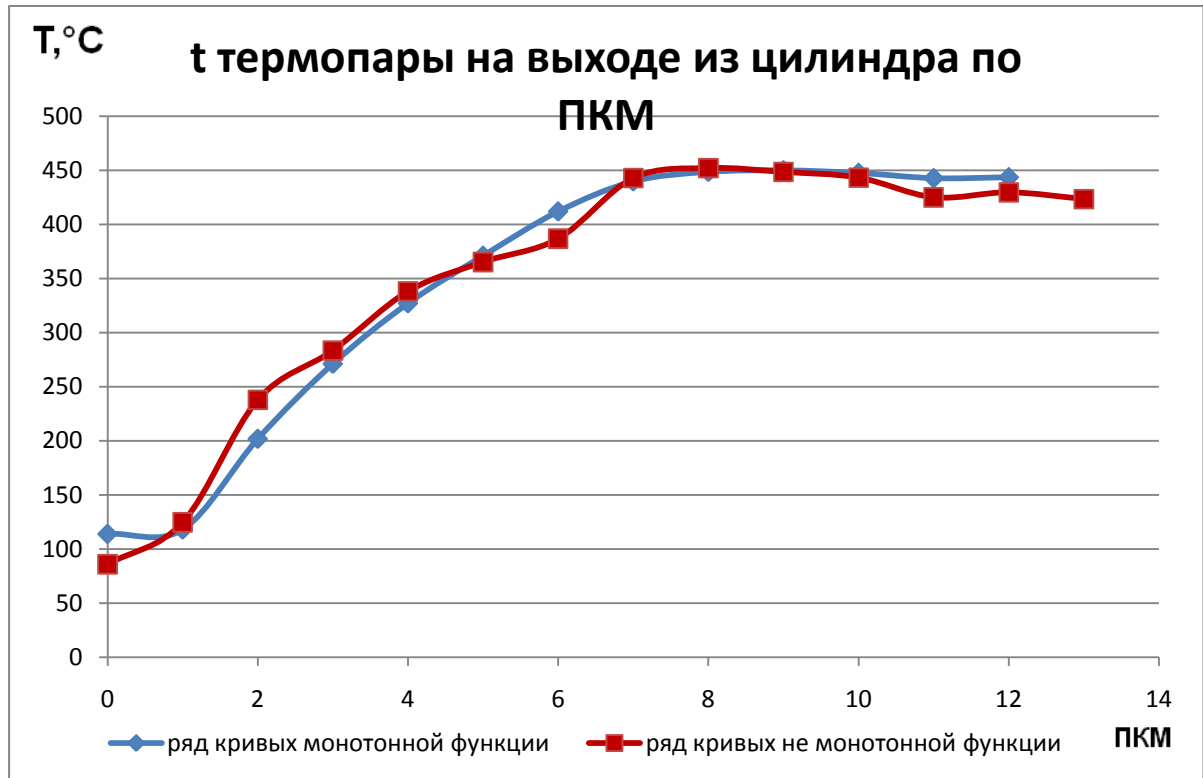


Рисунок 4.15 - Изменение t термопары на выходе из цилиндра по ПКМ

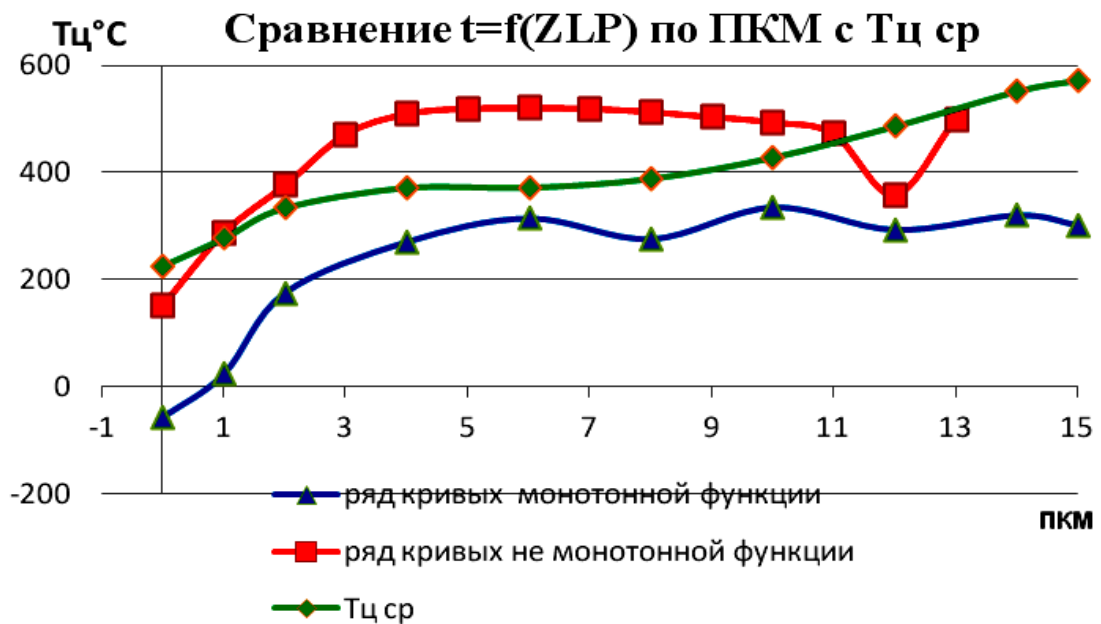


Рисунок 4.16 - Совмещение графиков рисунков 4.15 и 4.16

В районе 12-13 ПКМ наблюдается колебания, т.е. для анализа берем рабочий участок с 1 по 10 ПКМ и утверждаем, что в этой области следует проводить оперативную диагностику.

В области выше 10 ПКМ нужно применять дополнительные объясняющие переменные (живое сечение межлопаточного расстояния, по каким либо косвенным признакам, число лопаток компрессора). Есть методики работы выше 10 ПКМ, но они требуют дополнительных косвенных признаков, и подробного дальнейшего исследования (см. рисунок 4.18).

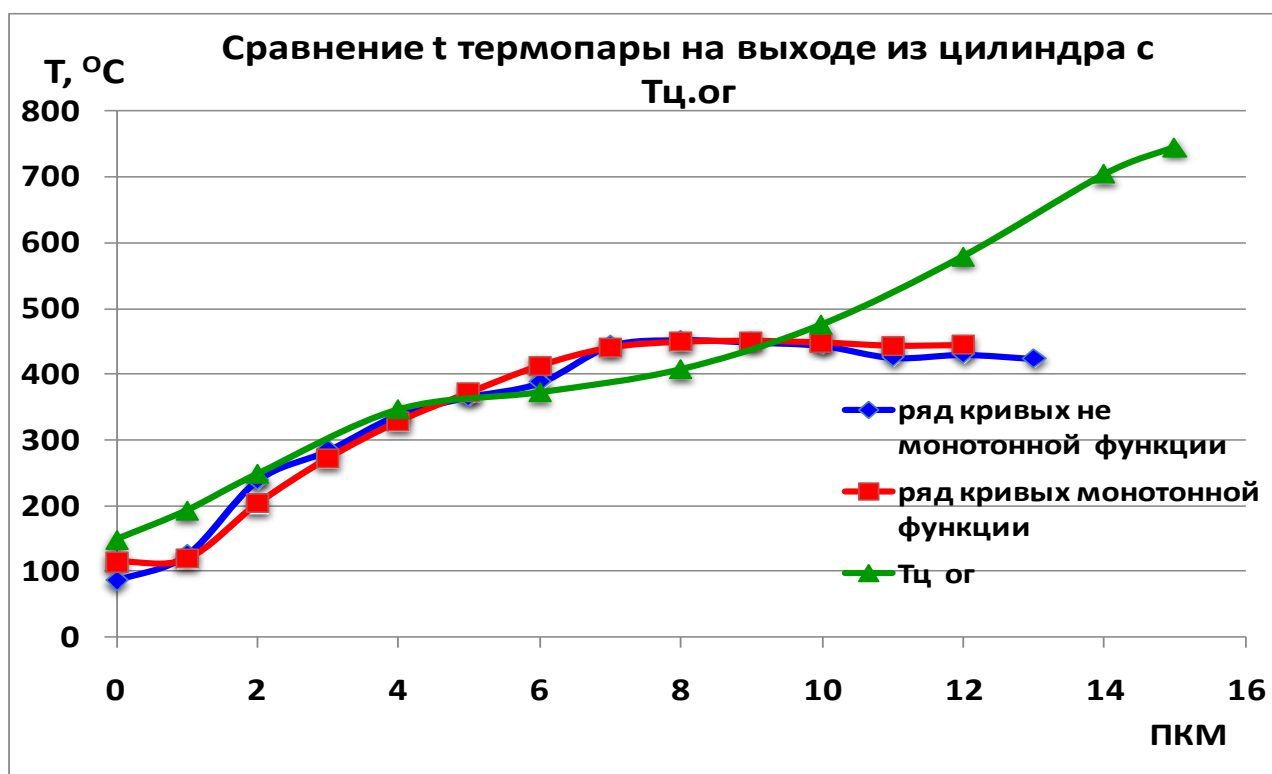


Рисунок 4.17 -Сравнение t термопары на выходе из цилиндра с $T_{ц.ог}$

Анализ данных по температуре отработавших газов показывает, что в число определяющих данных следует включать номер цилиндра, отсчитывающийся от глухого конца выпускного коллектора в направлении турбокомпрессора. Т.о. можно учесть неравные условия теплоотвода в коллекторе для отработавших газов в цилиндре и уравнивать условия измерений.

Совмещение кривых показывает наличие корреляции. В целом функцию можно охарактеризовать так: быстрый рост вначале до 5ПКМ, сменяется малым изменением до 7 позиции и очень небольшим снижением в дальнейшем. В районе 12-13 ПКМ наблюдается колебания, т.е. для анализа этот участок не

желателен. На рабочем участке с 2 по 10ПКМ можно надежно проводить оперативную диагностику. В области выше 10ПКМ необходимо применять дополнительные объясняющие переменные (живое сечение межлопаточного расстояния, число лопаток компрессора и т.д.).

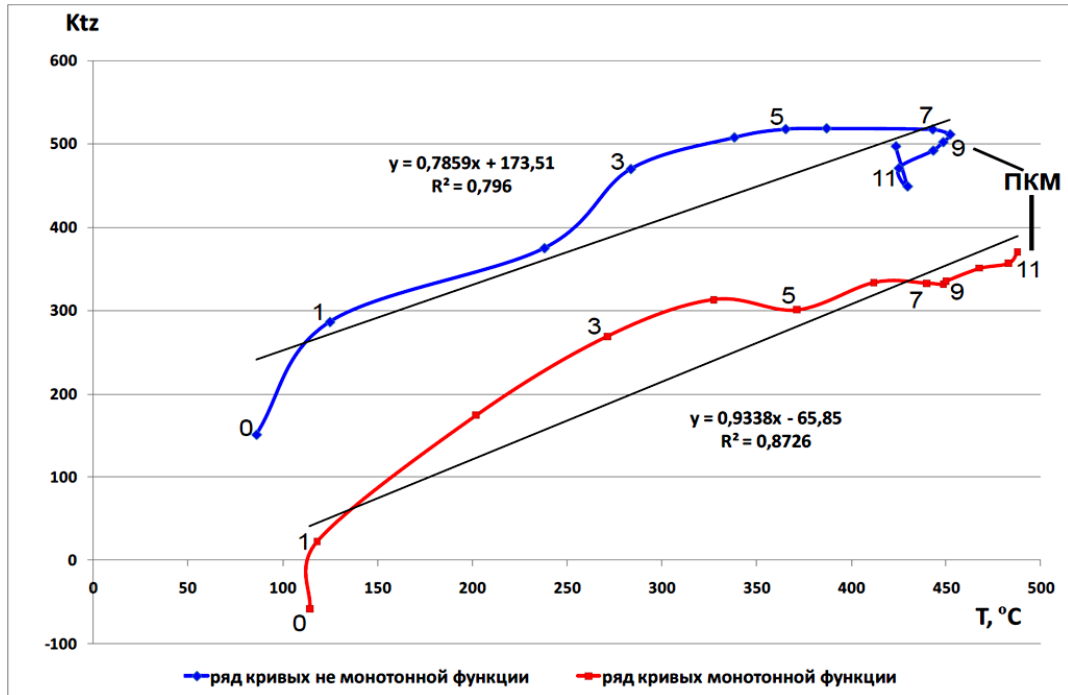


Рисунок 4.18 - Графики функций $K_{tz}=f(T_{ц})$ для монотонных и немонотонных кривых

В процессе исследования объясняющего полинома было установлено что, в диапазоне нагрузок дизеля с 2 по 10 позицию контроллера машиниста (ПКМ) полином является взаимно однозначным и обладает хорошей повторяемостью (разброс не более 10-15 % по опыту диагностики 15 тепловозов), на 1ПКМ имеется большой разброс данных, а выше 10ПКМ возникает помимо разброса данных неоднозначность полинома связывающего температуру фиктивной термопары K_{tz} , полученной по сигналу ZLP датчика компенсации с температурой реальной термопары (см. рисунок 4.18), затрудняющая получение диагностической информации.

При сравнении диагностических данных, полученных на тепловозах типа ТЭП70, с результатами математического моделирования рабочего процесса на тех же режимах, сделан вывод о влиянии турбокомпрессора на параметры работы дизеля на режимах выше 10ПКМ.

4.7 Выводы по главе

По результатам проведенных исследований необходимо отметить следующие основные особенности предлагаемой методики проведения оперативного диагностического контроля:

1. Практическая ценность. Предлагаемая методика оперативного диагностического контроля позволит повысить уровень технической эффективности и надежности работы тепловозных ДВС, а также выявлять неисправности элементов ЦПГ ТА и МГР без изъятия тепловозов из эксплуатации (в течение стоянки тепловоза на ТО).

2. Универсальность. Разработанная методика, при наборе статистических, экспериментальных данных может быть применена для дизелей магистральных и маневровых тепловозов.

Была дана экспериментальная оценка величины температуры отработавших газов по величине косвенного показателя ZLP с применением разработанной методики.

В ходе проведенного расчетно-экспериментального моделирования было установлено, что качество объясняющего полинома оценивается снижением среднеквадратического отклонения результатов прямого измерения температуры газов от результатов косвенного измерения с привлечением объясняющих переменных и без него, что говорит нам о целесообразности использования данного метода. При этом снижается погрешность обработанных данных.

Совмещение кривых, построенных на основе объясняющих переменных, показывает, что существует корреляция параметров. Для анализа следует брать рабочий участок с 2 по 10 ПКМ и именно в этой области следует проводить оперативную диагностику. В области выше 10 ПКМ нужно применять дополнительные объясняющие переменные. Созданы методики диагностики дизеля и работе на позициях, выше 10-ой, но они требуют дополнительных параметров и подробных дальнейших исследований.

5 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ОПЕРАТИВНОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Известен ряд методов, позволяющих связать конкретный набор диагностических признаков (их значений или величин) с определенной неисправностью контролируемого объекта. Среди них можно выделить следующие:

1. Метод идентификации – методика распознавания образов заключается в том, что производится прямое соотнесение диапазонов значений диагностических параметров с определенной неисправностью.

2. Метод моделирования – заключается в том, что диагностические признаки подставляются в математическую модель диагностируемого объекта и уже по модели определяются параметры, характеризующие неисправность. Например, зазор, деформация, уменьшение проходного сечения, давления и скорости.

3. Метод сравнения с эталоном – с помощью математической модели производится вычисление и построение эталонного значения диагностического параметра. На основе сравнения измеренных значений с эталонными, делается вывод об исправности или неисправности объекта. Данный метод позволяет получить заключение без построения диагноза и локализации дефекта.

5.1 Разработка методики проведения оперативного диагностирования

Применение рассмотренных в главе 3 работы диагностических средств в сочетании с математическими методами, позволяющими получить недостающие диагностические параметры через косвенные измерения, дает возможность выявлять изменение технического состояния элементов и узлов дизеля и в некоторых случаях причины возникновения таких отклонений. Предлагаемый общий алгоритм использования диагностической информации приведен на рисунке 5.1.

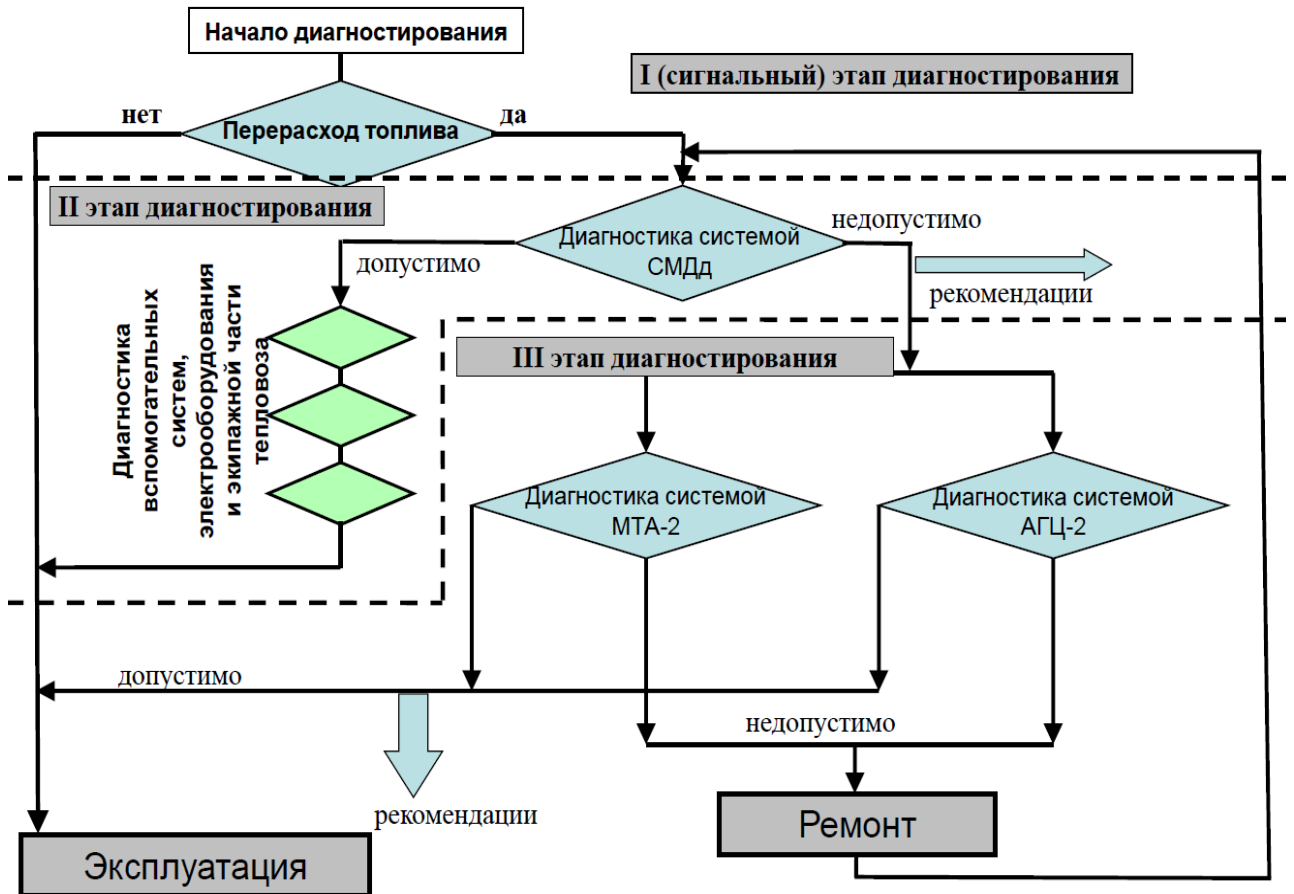


Рисунок 5.1 - Схема алгоритма диагностирования ЛЭУ тепловозов

Оперативное диагностирование позволяет расширить и уточнить объем диагностической информации по объекту по сравнению с бортовыми системами диагностики.

Разработанный алгоритм оперативного диагностирования включает три основных этапа:

I этап (сигнальный) – анализ допустимых значений основных контролируемых параметров. Последующее поэтапное диагностирование производится при выходе величин контролируемых параметров за допускаемые пределы.

II этап – диагностирование технического состояния дизеля по параметрам рабочего процесса системой СМДд.

Необходимо отметить, что на расход топлива силовой установкой оказывают существенное влияние ряд дополнительных факторов:

- качество настройки САР напряжения тягового генератора;

- техническое состояние узлов и агрегатов вспомогательных систем локомотивных ДГУ;
- качество настройки САР температуры теплоносителей;
- условия эксплуатации и режимы ведения поезда.

III этап – диагностирование технического состояния топливной аппаратуры высокого давления и цилиндропоршневой группы системами МТА-2 и АГЦ-2.

На каждом этапе диагностирования при выходе значений контролируемых параметров за допускаемые пределы формируются рекомендации по их приведению к нормативным значениям. После выполнения необходимого объема работ тепловоз отдается в эксплуатацию.

Параметры, получаемые в результате проведения оперативного диагностирования используются для дачи 2-х типов рекомендаций:

1. Установление причин выявленных инцидентов (неисправностей), разработка и выдача рекомендаций по эксплуатации тепловоза, позволяющих снизить вероятность повторного возникновения этих инцидентов.
2. Рекомендации по объему ремонта с указанием дефектного элемента или узла.

Рекомендации вырабатываются на основе полученных параметров одним из известных методов, например с применением нечеткой логики

Применение предлагаемого алгоритма оперативного диагностирования возможно как при существующей системе планово-предупредительного ремонта, так и при перспективной системе сервисного обслуживания тепловозов в структуре «ТМХ-Сервис» с использованием данных, получаемыми бортовыми системами контроля и диагностики [83, 88, 89, 138].

Технология диагностирования с помощью составляющих комплексной системы оперативной диагностики, состоящей из системы мониторинга СМДд, механотестера МТА-2 и анализатора герметичности цилиндров АГЦ-2 представлена в приложении Д.

5.2 Разработка экспертной системы оценки технического состояния дизелей тепловозов на основе нечеткой логики

Для реализации оперативного диагностирования был выбран метод нечеткой логики как наиболее полно соответствующий характеру решаемых задач [24, 32, 106, 109, 117, 121, 126, 130].

Разработана экспертная система (ЭС) для контроля технического состояния дизелей по параметрам рабочего процесса при проведении сервисного обслуживания. В основу данной экспертной системы заложен математический аппарат нечеткой логики с использованием данных, полученных с помощью средств оперативной диагностики.

Для идентификации неисправностей были выбраны основные параметры, контролируемые системой СМДд (см. пункт 3.1), и были определены интервалы допусков для этих параметров. Описаны функции принадлежности и определены диапазоны допустимых значений основных параметров для дизелей типа 2А-5Д49 тепловозов ТЭП70.

При разработке экспертной системы диагностики дизель-генераторной установки тепловоза на основе нечеткой логики использовались алгоритмы, основанные на поиске скрытых закономерностей и определения новых знаний в системе поддержки принятия решений [109, 126, 162]. Используемые алгоритмы включают пять стандартных типов закономерностей: ассоциация, последовательность, классификация, кластеризация и прогнозирование.

При формализации процедур по оценке технического состояния использована «концепция отклонений». Отклонения параметров каждого цилиндра от средних значений устанавливалось в соответствии с правилами технической эксплуатации дизелей.

Для идентификации неисправностей отдельных цилиндров дизеля разработана диагностическая матрица и алгоритмы, в соответствии с которыми значения контролируемых параметров отдельных цилиндров сравниваются с их средними арифметическими значениями, представленными в приложении В. Признак неисправности отдельного цилиндра двигателя будет иметь ме-

сто, если хотя бы одно отклонение параметра превышает установленные допустимые пределы. Идентификация неисправности производится по соответствующему набору признаков.

Для идентификации неисправностей используются установленные правила и связи параметров с неисправностями, представленные в таблице 5.1.

Таблица 5.1 - Связь параметра с неисправностью

№	Параметр	Наименование неисправности
1	P_{\max}	Снижение давления продувочного воздуха, состояние ТНВД, качество распыливания топлива форсунками
2	P_c	Потеря плотности выпускного клапана; занос продувочных окон; состояние поршневых колец, поверхности втулки цилиндра, доньшка поршня
3	$P_{\text{вхр}}$	Состояние ТНВД, изменение фаз подачи топлива, качество распыливания топлива форсунками (износ отверстий распылителя, льющий впрыск форсунки)
4	P_{scav}	Наличие загрязнения/повреждения в турбине либо в компрессоре
5	P_{mi}	Цилиндр перегружен/недогружен
6	t_{Γ}	Изменение фаз подачи топлива, качество распыливания топлива (износ отверстий распылителя, льющий впрыск форсунки)
7	φ_z	Увеличение φ_z ведёт к смещению процесса сгорания на расширение, снижается к.п.д., увеличивается расход топлива

Таким образом, представленная архитектура экспертной системы предусматривает диагностику дизелей на базе как объективной информации, получаемой с помощью аппаратных средств, так и субъективных знаний экспертов-операторов, что позволяет отнести данную систему к классу гибридных экспертных систем.

Результаты практического использования различных комплексов показали, что решение проблемы диагностики неисправностей дизелей тепловозов требует расширения функциональных возможностей средств диагностики путем создания специализированной экспертной системы (ЭС) для классификации неисправностей по изменению ключевых рабочих параметров дизеля.

Накопленный опыт позволил выделить наиболее важные параметры рабочего процесса, которые могут быть использованы для анализа технического состояния дизеля (см. таблице 5.2).

Конкретный дефект дизеля всегда характеризуется изменением нескольких значений параметров рабочего процесса, что способствует повышению точности проводимой диагностики.

Таблица 5.2 – Индикаторные параметры рабочего процесса и параметры топливоподачи и газораспределения

Название параметра	Обозначение параметра
Среднее индикаторное давление, кгс/см ²	P_i
Максимальное давление сгорания в цилиндре, кгс/см ²	P_z
Максимальное давление сжатия в цилиндре, кгс/см ²	P_c
Давление начала сжатия, кгс/см ²	P_s
Давление на линии расширения (36° ПКВ за ВМТ), кгс/см ²	P_{exp}
Угол поворота коленчатого вала, соответствующий максимальному давлению сгорания топлива (°ПКВ)за (ВМТ)	φ_{P_z}
Угол начала сгорания топлива, °ПКВ	$\varphi_{P_c'}$
Продолжительность впрыскивания топлива, °ПКВ	φ_{inj}
Угол задержки самовоспламенения топлива, °ПКВ	φ_{π}
Температура выпускных газов, °С	T
Действительный угол опережения подачи топлива, °ПКВ	α_{inj}
Степень повышения давления	λ
Максимальная скорость нарастания давления, кгс/см ² /°ПКВ	V_m
Давление в цилиндре в момент, соответствующий 36°ПКВ	$\varphi_{P_{exp}}$

На основе выявленных взаимосвязей была сформирована диагностическая матрица неисправностей, которая представлена в таблице 5.1 и в приложении В.

Представленная матрица позволяет упростить процесс перехода от экспертных оценок причин неисправности к продукционным правилам ЭС. При анализе полученных данных диагностирования экспертом принимаются во внимание также данные визуального контроля соответствия вводимых изменений диагностических признаков и диагностируемых дефектов дизеля. Значительное количество контролируемых параметров рабочего процесса сводит к минимуму возможность ошибочной идентификации неисправности дизеля.

Использование аппарата нечёткой логики при разработке базы знаний и механизмов вывода экспертной системы позволяет формализовать процедуру оценки технического состояния на базе фрагментарной, ненадёжной и содержащей погрешности информации и обоснованно принимать решения по идентификации неисправностей. Разработанная модель экспертной системы позволяет на ранней стадии адекватно отразить растущую вероятность неисправности при изменении входных параметров в режиме реального времени.

В настоящей работе структурная схема была реализована при разработке модуля экспертной системы для идентификации неисправностей на примере тепловозного дизеля типа 16ЧН26/26. Предложенная структурная схема ЭС на нечёткой логике может быть применена в любых системах по определению технического состояния объекта и системах поддержки принятия решений для сложных процессов, когда нет математической модели и когда экспертные знания об объекте или процессе можно сформулировать в лингвистической форме.

При разработке базы знаний экспертной системы, для установления диапазонов контролируемых параметров были использованы сводные отчеты, полученные при наборе нагрузки 0-15 ПКМ с помощью системы СМДд при проведении реостатных испытаний тепловозов в депо Елец в период с 05.2010 по 05.2015 г.[15, 17].

Результаты индицирования на номинальном режиме были преобразованы в три диапазона значений параметров соответственно для трёх лингвистических переменных: низкое, нормальное и высокое (см. таблицу 5.3).

Диапазоны параметров при работе дизеля типа 2А-5Д49 на всех позициях контроллера машиниста представлены в приложении Б.

Из таблицы 5.3 следует, что для максимального давления в цилиндре возможные значения составляют следующее множество:

$$P_z = (77,9; 95,9; 114,0; 119,5; 125,0; 127,5; 130,0) \quad (5.1)$$

Таблица 5.3 - Значения параметров в каждом диапазоне на номинальном режиме работы дизеля 2А-5Д49

Наименование параметра	Обозначение	Значение параметров		
		низкое	нормальное	высокое
Частота оборотов коленчатого вала, об/мин	n	945,0 – 983,0	983,0 – 993,0	993,0 – 1050,0
Максимальное давление сгорания в цилиндре, бар	P_z	77,9 - 114,0	114,0 – 125,0	125,0 – 135,0
Давление на линии расширения при угле 36° за ВМТ, бар	P_{exp}	64 - 76,1	76,1 - 79,4	79,4 - 82,1
Действительный угол впрыскивания топлива, ($^\circ$ ПКВ)	φ_{inj}	14,0 - 28,86	28,86 - 35,0	35,0 - 44,5
Максимальное давление сжатия в цилиндре, бар	P_c	52,9 - 88,5	88,5 - 105,1	88,5 - 105,1
Действительный угол опережения	α	1,33 - 9,5	9,5 - 13,5	13,5 - 18,5
Цилиндровая индикаторная мощность, кВт	N_i	188,89 - 221,5	221,5 - 243,1	243,1 - 284,5
Температурный коэф. датчика давления PS16 системы СМДд	ZLP	1,01 - 1,053	1,053 - 1,19	1,19 - 1,32

Каждому элементу множества соответствует своя степень принадлежности: чем выше степень принадлежности, тем больше вероятность того, что значение параметра в норме. Функции принадлежности или информация для их построения задаются экспертом-оператором на основе субъективных предпочтений и не носят случайного характера. Полученное нечёткое множество будет в следующем виде:

$$\tilde{A}_{P_z} = \left(\frac{0}{77,9}; \frac{0,43}{95,9}; \frac{1}{114,0}; \frac{1}{119,5}; \frac{1}{125,0}; \frac{0,24}{127,5}; \frac{0}{130,0} \right) \quad (5.2)$$

Так как множество параметра P_z является конечным и содержит 7 элементов, то нечёткое множество \tilde{A} записывается так:

$$\tilde{A}_{P_{mi}} = \sum_{i=1}^7 \frac{\mu_A(P_{zi})}{P_{zi}} \quad (5.3)$$

где – $\mu_A(P_{zi})$ степень принадлежности элемента $P_{zi} \in P_z$ нечёткому множеству \tilde{A} . Степень принадлежности – это число из диапазона $[0...1]$. Чем

выше степень принадлежности, тем большей мерой элемент множества соответствует свойствам нечёткого множества.

Для цилиндрической индикаторной мощности возможные значения составляют следующее множество:

$$N_i = (188,9; 205,2; 221,5; 232,3; 243,1; 263,8; 284,5) \quad (5.4)$$

Полученное нечёткое множество имеет вид:

$$\tilde{A}_{N_i} = \left(\frac{0}{188,9}; \frac{0,5}{205,2}; \frac{1}{221,5}; \frac{1}{232,3}; \frac{1}{243,1}; \frac{0,5}{263,9}; \frac{0}{284,5} \right) \quad (5.5)$$

тогда нечеткое множество \tilde{A} для параметра N_i записывается так:

$$\tilde{A}_{N_i} = \sum_{i=1}^7 \frac{\mu_A(P_{N_{i_j}})}{P_{N_{i_j}}} \quad (5.6)$$

Нечеткие множества изменения параметров рабочего процесса при неисправностях основных узлов дизеля представлены в приложении В.

Разработанная экспертная система зависит от значений всех входных параметров, и будет описываться правилами, в которых учитываются все входные параметры системы. Обобщённая запись полученной системы выглядит следующим образом:

$$y = [\tilde{A}_n \wedge \tilde{A}_{P_Z} \wedge \tilde{A}_{P_{\text{exp}}} \wedge \tilde{A}_{\varphi_{\text{inj}}} \wedge \tilde{A}_{P_C} \wedge \tilde{A}_\alpha \wedge \tilde{A}_{N_i} \wedge \tilde{A}_{ZLP}] \quad (5.7)$$

В модели экспертной системы входными переменными являются восемь параметров: $n, P_Z, P_{\text{EXP}}, \varphi_{\text{inj}}, P_C, \alpha, N_i, ZLP$, так как при большем количестве входов эксперту сложнее описать нечёткими правилами причинно-следственные связи. Это обусловлено тем, что в оперативной памяти человека может одновременно храниться не более 7 ± 2 понятий-признаков. Следовательно, количество входных переменных в одной базе знаний не должно превышать это число.

Каждый параметр имеет свой диапазон изменения. Лингвистическая оценка значения каждой переменной производится с помощью 3 термов: low (низкое), normal (нормальное), high (высокое). Функция принадлежности

имеет трапециевидную форму: $y = \text{trapmf}(x[a, b, c, d])$, где аргумент a – минимальное допустимое значение параметра с нулевой вероятностью нормы, отрезок между аргументами $[b, c]$ показывает принадлежность параметра к норме с вероятностью 1. И соответственно аргумент d – максимальное допустимое значение параметра с нулевой вероятностью нормы.

Выбор трапециевидной формы функции принадлежности обусловлен тем, что принадлежность параметра к норме с вероятностью 1 определяется не одним единственным значением переменной, а некоторым диапазоном из допустимых значений.

Для параметра P_z функции принадлежности имеют три качественных представления, механизм нечеткого логического вывода которых математически формализован в следующем виде:

$$\mu_{\text{lov}}(P_z) = \begin{cases} 1 \dots\dots\dots P_z \in [78 \quad 114] \\ 1 - \frac{P_z - 108}{114 - 108} \dots\dots P_z \in [108 \quad 114] \\ 0 \dots\dots\dots P_z \in [55 \quad 114] \vee P_z > 114 \end{cases} \quad (5.8)$$

$$\mu_{\text{normal}}(P_z) = \begin{cases} \frac{P_z - 108}{114 - 108} \dots\dots\dots P_z \in [108 \quad 119,5] \\ 1 \dots\dots\dots P_z \in [114 \quad 125] \\ 1 - \frac{P_z - 119,5}{16,5 - 119,5} \dots\dots P_z \in [119,5 \quad 126] \\ 0 \dots\dots\dots P_z \in [10 \quad 15,4] \vee P_z > 16,5 \end{cases} \quad (5.9)$$

$$\mu_{\text{high}}(P_z) = \begin{cases} \frac{P_z - 124}{126 - 124} \dots\dots\dots P_z \in [124 \quad 126] \\ 1 \dots\dots\dots P_z \in [126 \quad 130] \\ 0 \dots\dots\dots P_z < 124 \end{cases} \quad (5.10)$$

После завершения этапа фаззификации для всех входных переменных определены конкретные значения функций принадлежности по каждому из лингвистических термов, которые используются в условиях «если параметр N is (lov/normal/high)» базы правил системы нечеткого вывода.

Связи между значениями параметров и неисправностью формализуются в виде совокупности нечётких логических правил. Формат базового правила вывода «если – то» (if - then) называется нечёткой импликацией. Условием

правила может быть утверждение « P_Z низкое», где «низкое» – терм заданный нечётким множеством на универсальном множестве лингвистической переменной P_Z . Следствием (заключением) для данного условия может быть «потеря плотности цилиндра». Данную импликацию можно записать в виде: « P_{\max} низкое» → «потеря плотности цилиндра».

Нечёткая база знаний с информацией о зависимости «значение параметров – неисправность» содержит лингвистические правила, например, правило для идентификации неисправности топливной аппаратуры формализовано в базе знаний следующим образом:

if (P_i is low) and (P_Z is low) and (P_{exp} is low) and (φ_{inj} is high) and (T is low)
 then (Неисправность ТА is high) (Неисправность МГР is low) (Норма is low)
 (Неисправность ЦПГ is low). В данном случае это зависание иглы в нижнем положении.

На данном этапе дефаззификации происходит решение задачи обратной фаззификации: преобразование лингвистических переменных входных параметров в значение конкретной неисправности. После индицирования двигателя оператор вводит полученные значения параметров, например: $n = 745$ об/мин, $P_Z = 77,9$ кгс/см², $P_{\text{exp}} = 76,1$ кгс/см², $\varphi_{\text{inj}} = 28,86^\circ$ ПКВ, $P_C = 62,6$ кгс/см², $\alpha_{\text{inj}} = 17^\circ$ ПКВ, $N_i = 221,5$ кВт, $ZLP = 1,317$. Затем редактор нечеткого логического вывода определяет неисправности цилиндра. Вероятность наличия неисправности определяется в диапазоне [0...1]. В рассмотренном примере неисправность топливной аппаратуры определена с вероятностью 0,9.

5.3 Выводы по главе

1. Создана матрица неисправностей и выбраны основные параметры для диагностирования. Матрица отражает изменение параметров от неисправностей.

2. Разработана модель экспертной системы диагностирования дизелей тепловозов на базе аппарата нечеткой логики. Данная система позволяет проводить оперативную параметрическую диагностику дизеля по величине показателей внутрицилиндровых процессов, фазам газораспределения и топливоподачи на всех режимах работы дизеля.

3. Произведен расчет и определены границы интервалов основных показателей рабочего процесса для лингвистических переменных нечетких множеств на всех режимах работы дизеля 2А-5Д49 (по ПКМ).

4. Определены функции принадлежности основных параметров рабочего процесса к той или иной неисправности. А так же рассчитаны величины степени принадлежности выбранных параметров к определенным диапазонам лингвистической оценки значений: low(низкий), normal(нормальный), high(высокий).

6 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ТЕПЛОВОЗНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Испытания проводились в депо Люблино, Лихоборы, Узловая (тепловозы ЧМЭЗ, 2М62У, дизель-поезда Д1); Санкт-Петербург-Сортировочный-Московский (тепловозы ЧМЭЗ, ТЭМ7, М62); Елец (тепловозы ТЭП70, 2ТЭ116, ЧМЭЗ, ТЭМ2М); Ногинское ППЖТ, Подольское ППЖТ (тепловозы ТГМ6, ТГМ4).

6.1 Особенности диагностирования дизелей типа Д49 (ЧН26/26) и К6S310DR (6ЧН31/36) системой СМДд

При проведении испытаний тепловозы устанавливались на пункт реостатных испытаний и ДГУ нагружалась на водяной реостат. Также тепловозы ТЭП70 оборудованные системой электродинамического торможения (ЭДТ), проходящие плановое ТО (межпоездное обслуживание), нагружались на блоки тормозных сопротивлений ЭДТ (т.н. «сухой реостат»). Испытания проводились на режиме холостого хода 0ПКМ и номинальной нагрузки 15ПКМ. Дизели тепловозов ТГМ4 и ТГМ6 диагностировались в стоповом режиме работы гидропередачи при мощности 0-50 % от номинальной (0-4 ПКМ).

Вибродиаграмма снимается по сигналам форсунки, механизма газораспределения (клапанов) и ГНВД при помощи вибродатчика VS-20, устанавливаемого на форсунку и место с наименьшим расстоянием от посадочных сёдел клапанов

Необходимо подчеркнуть, что удобство расположения мест (точек) установки вибродатчика и их приближенность к диагностируемому узлу влияют на точность и стабильность полученных данных.

На качество полученных показаний влияет также наличие в конструкции индикаторного крана удлинительных трубок, т.е. удалённость индикаторного крана от крышки цилиндра.

Конструктивные особенности дизелей типа Д49 обеспечивают хорошую технологичность при диагностировании системой СМДд и механотестером МТА-2. Расположение мест и точек установки датчиков позволяет быстро и с большой точностью оценивать параметры рабочего процесса в цилиндрах, фазы топливоподачи и газораспределения, а также производить снятие вибродиаграмм работы ТА и МГР. Индикаторный кран доступен и имеет короткий соединительный канал [15, 17].

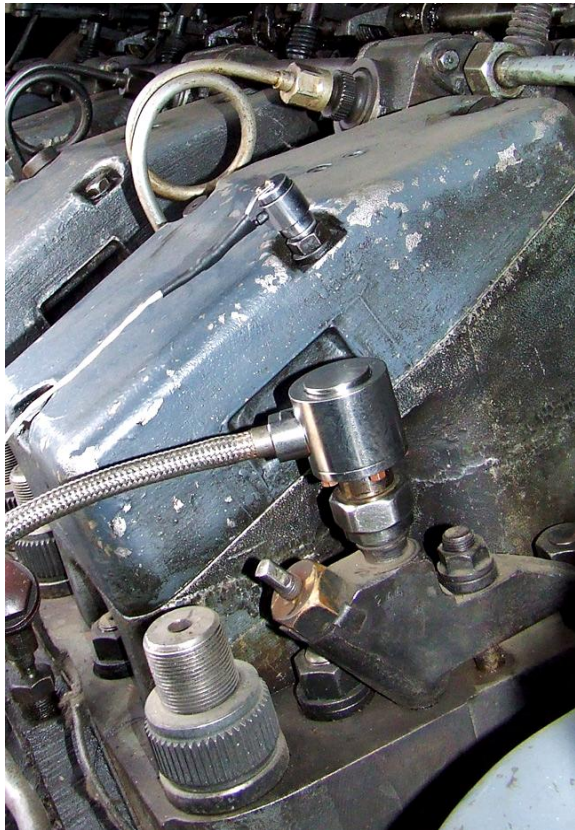
Вибродиаграммы работы ТА и МГР дизелей типа Д49 снимаются с 2х точек:

1. Корпус форсунки (выступающая часть из цилиндровой крышки), точка между входным и выходным штуцерами (см. рисунок 3.2).
2. Правый болт крышки клапанной коробки (см. рисунок 6.1б) т.к. это наиболее приближенное к посадочным седлам клапанов место. Помехи от работы форсунки в данной точке не столь ощутимы.

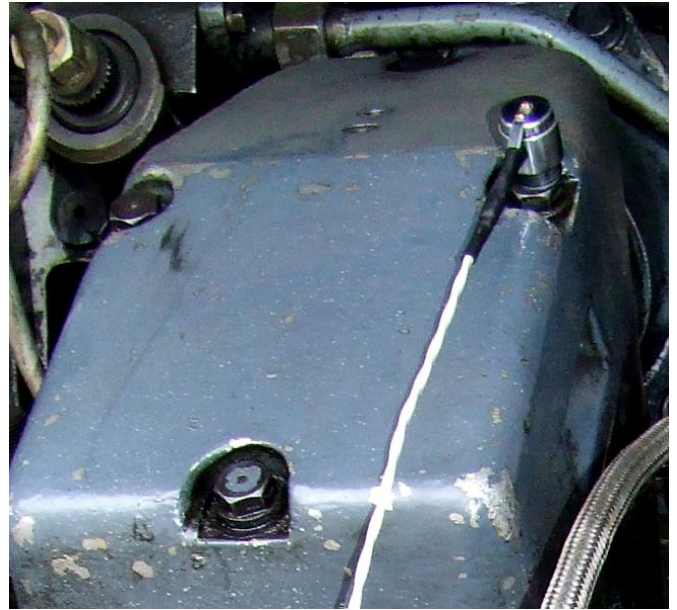
Результаты испытаний системы СМДд показали, что в большинстве случаев при установке вибродатчика на форсунку (дизели типа Д49) с достаточной точностью записывается вибродиаграмма работы клапанов, а также определяются фазы газораспределения. Это позволяет существенно упростить процесс снятия показаний работы дизеля.

Процесс диагностирования дизелей типа К6S310DR связан с особенностями конструкции цилиндровой крышки и расположением форсунки. Вибродатчик устанавливается вначале на форсунку (см. рисунок 6.2а), затем на болты крепления стойки осей клапанных коромысел. Кроме этого возможна установка вибродатчика снаружи крышки цилиндра между рычагами клапанов газораспределения (см. рисунок 6.2б).

Значения основных параметров работы дизелей 2А-5Д49, 2А-6Д49 и К6S310DR, контролируемых с помощью системы СМДд, представлены в таблице 6.1.

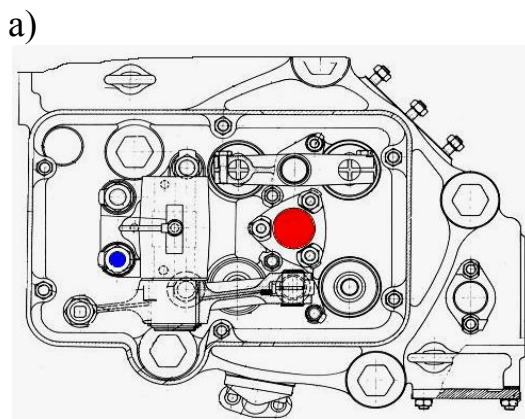


а) Установка датчика давления PS-20 и вибродатчика VS-20

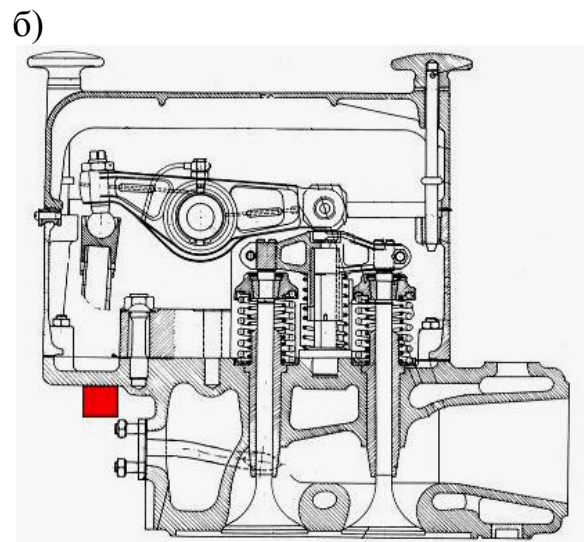


б) Установка вибродатчика VS-20 на крышке клапанной коробки дизеля

Рисунок 6.1 - Установка датчиков системы на дизеле типа Д49



а)



б)

Рисунок 6.2 - Схема установки вибродатчика на цилиндре дизеля K6S310DR:

а-установка внутри клапанной коробки (вид сверху); б-установка снаружи цилиндрической крышки (вид сбоку). Красный цвет-на форсунке; синий – на болт крепления стойки коромысел клапанов

По результатам проведенных эксплуатационных испытаний было определено время на выполнение основных операций при диагностировании системой СМДд: 16ЧН26/26 – 64-104 мин; 12ЧН26/26 -48-78 мин; 8ЧН26/26 – 32-52 мин и 6ЧН31/36 – 24–48 мин [14, 16, 19].

6.2 Результаты диагностирования дизелей системой СМДд

Для наглядности представлены наиболее подробные примеры результатов диагностики дизелей тепловозов и последующей регулировки. Основные результаты диагностики дизелей тепловозов в депо Елец представлены в приложении Г.

Диагностика дизеля тепловоза ЧМЭЗТ-6461

Диагностирование производилось на тепловозе, установленном на пункте реостатных испытаний, на режиме 0ПКМ-холостого хода.

Сводный отчет диагностики цилиндров дизеля представлен на рисунке 6.3.

По результатам первичной оценки основных параметров работы дизеля было выявлено следующее:

- Цилиндры № 2 и 5 имели завышенные показатели максимального давления сгорания P_z на 0ПКМ-х.х..
- Цилиндр № 4 имел заниженное значение P_z на данном режиме.

Произведена следующая регулировка:

- Выход реек ТНВД на цилиндрах № 2 и 5 уменьшен на величину 1 мм, при действующей норме 34 мм.
- Выход реек ТНВД от нормы увеличен на цилиндре № 4 на величину 1 мм.

6ЧН31/36 (ЧМЭЗТ-6461)
до регулировки

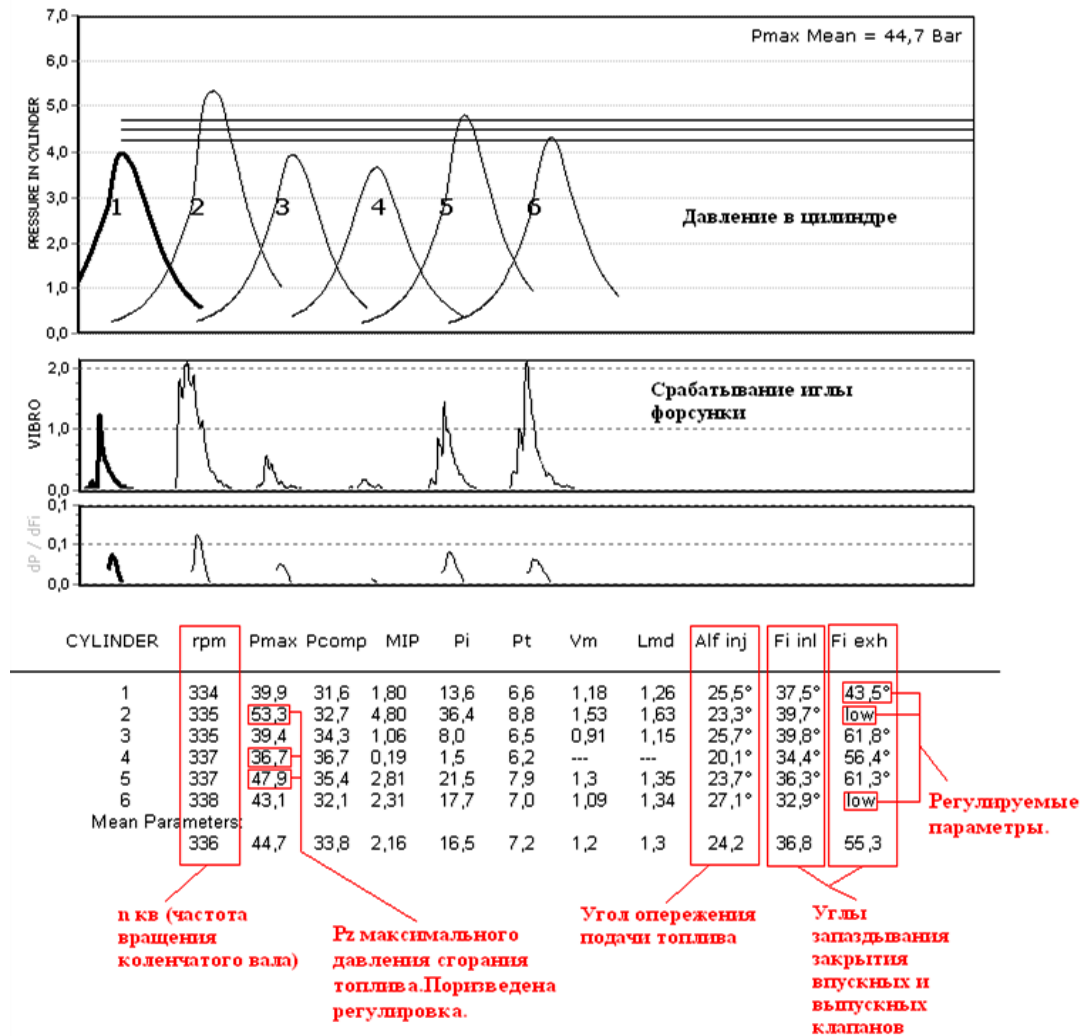


Рисунок 6.3 – Сводный отчет диагностики цилиндров дизеля тепловоза ЧМЭЗТ-6461 до регулировки

После регулировки выхода реек ТНВД на данных цилиндрах произведено повторное диагностирование (см. рисунок 6.4).

По его результатам было установлено следующее:

1. Величина P_z на цилиндре № 2 стала 4,59 МПа, до регулировки составляла 5,33 МПа.
2. Величина P_z на цилиндре № 5 стала 4,36 МПа, до регулировки составляла 4,79 МПа.
3. Величина P_z на цилиндре № 4 стала 4,74 МПа, до регулировки составляло 3,67 МПа.

Таблица 6.1 - Основные контролируемые параметры тепловозных дизелей

Наименование параметра	Дизель				
	1А-5Д49	2А-5Д49	2-2Д49	2А-6Д49	К6S310DR
Частота вращения коленчатого вала RPM, об/мин	350 (±15) - 1000 (±10)	350 (±15) - 1000 (±10)	350 (±15) - 1000 (±10)	350(±15) - 800 (±10)	330(±15) - 750 (±5)
Давление сжатия P_{comp} , кгс/см ² (МПа), не менее	28 - 30 (2,8 - 3,0)	28 - 30 (2,8 - 3,0)	28 - 30 (2,8 - 3,0)	28 - 30 (2,8 - 3,0)	28 - 30 (2,8 - 3,0)
Максимальное давление сгорания в цилиндре P_{MAX} , кгс/см ² (МПа), не более	125 (12,5)	135 (13,5)	115 (11,5)	112 (11,2)	90 (9,0)
Действующий угол опережения подачи топлива α (Alf inj), ° п.к.в.	12 - 14	15-16	12 - 14	12 - 14	12 - 14
Угол запаздывания закрытия впускных клапанов φ_{inl} (Fi inl), ° п.к.в.	30 ±2	28 ±2	30 ±2	30 ±2	35 ±2
Угол запаздывания закрытия выпускных клапанов φ_{exh} (Fi exh), ° п.к.в.	35 ±2	40,5 ±2	35 ±2	35 ±2	55 ±2
Максимальная разность давлений сгорания по цилиндрам ΔP_{MAX} , кгс/см ² (МПа), не более	10 (1)	10 (1)	10 (1)	10 (1)	5 (0,5)

6ЧН31/36 (ЧМЭЗТ-6461)
после регулировки

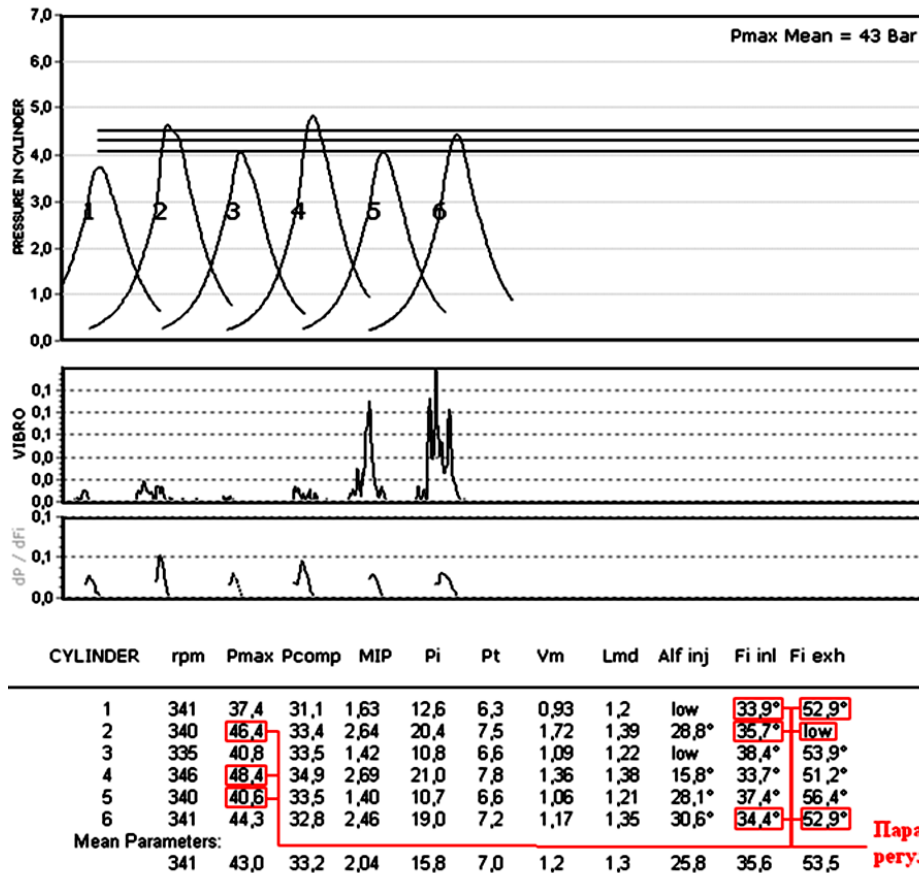


Рисунок 6.4 – Сводный отчет диагностики цилиндров дизеля тепловоза ЧМЭЗТ-6461 после регулировки

Угол опережения подачи топлива по всем цилиндрам не подвергался регулировке т.к. находился в пределах допуска.

Так как фазы газораспределения по запаздыванию закрытия впускных и выпускных клапанов не соответствовали паспортным данным, произвели регулировку клапанов цилиндров № 1, 2 и 6. До регулировки значение угла запаздывания закрытия выпускных клапанов цилиндра № 1 составляло 44° п.к.в. (при норме 55° п.к.в.), а запаздывания закрытия впускных 34° п.к.в. (при норме 35° п.к.в.); также на цилиндрах № 2 и 6 отсутствовал сигнал закрытия выпускных клапанов, что свидетельствовало об их нечёткой работе. После проверки и регу-

лировки тепловых зазоров по данным клапанам произвели диагностирование, которое дало следующие результаты (см. рисунок 6.4):

1. Значение угла запаздывания закрытия выпускных клапанов цилиндра № 1 составило $52,9^{\circ}$ п.к.в. (при норме 55° п.к.в.); угла запаздывания закрытия впускных клапанов – $33,9^{\circ}$ п.к.в. (практически осталось без изменения).

2. Сигнал закрытия выпускных клапанов цилиндра № 2 не был зафиксирован; значение угла запаздывания впускных клапанов составило $35,7^{\circ}$ п.к.в..

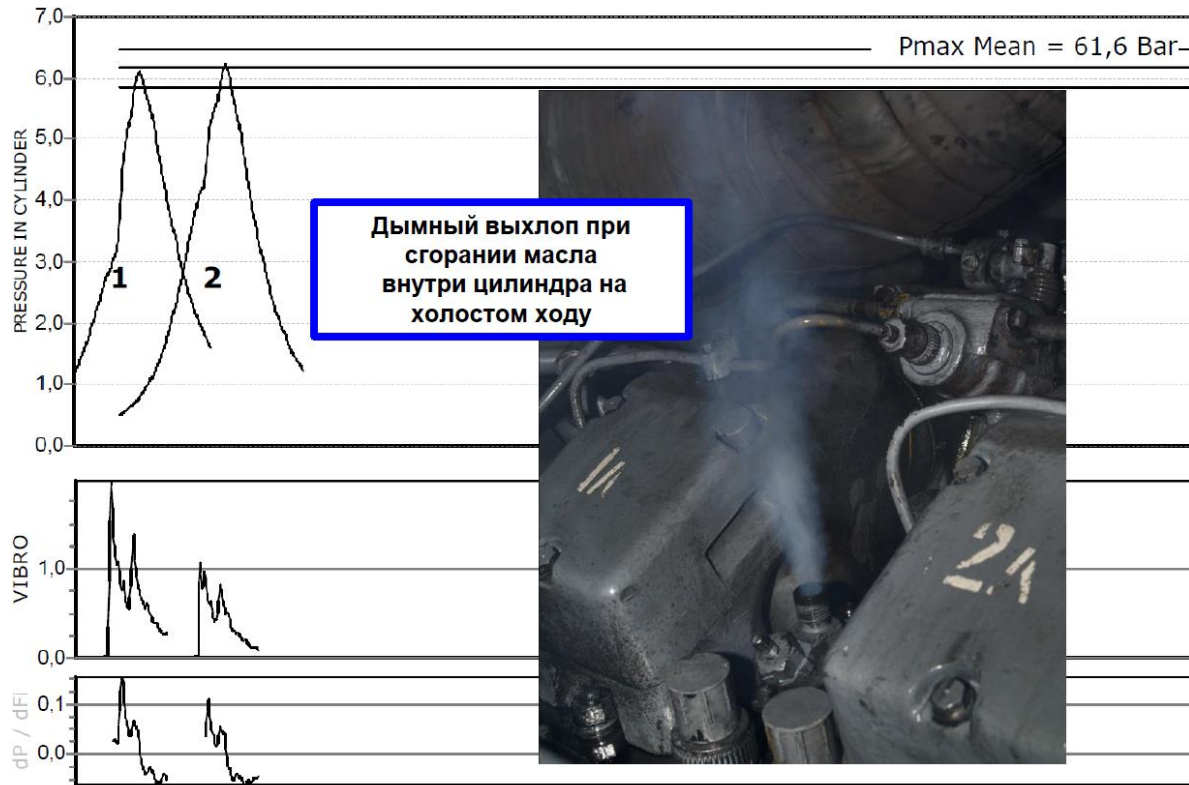
3. Значение угла запаздывания закрытия выпускных клапанов цилиндра № 6 составило $52,9^{\circ}$ п.к.в., а впускных – $34,4^{\circ}$ п.к.в., что соответствует норме.

После проведённых регулировок тепловоз прошел реостатные испытания, в процессе которых на максимальной (8ПКМ) мощность тягового генератора соответствовала нормативным требованиям - 825 кВт. Выхлоп дизеля в норме, работа – устойчивая.

Диагностика дизеля тепловоза ТЭП70-0282

При проведении технического обслуживания в объеме ТО-5 (после заводского ремонта) тепловоза ТЭП70-0282 в депо ТЧР-21 Елец ЮВЖД при визуальном осмотре было зафиксирован выброс масла 1Л цилиндрического комплекта. Также наблюдался дымный выхлоп из индикаторного крана 1Л цилиндра характерный при горении масла внутри цилиндра (см. рисунок 6.5).

Системой СМДд были продиагностированы цилиндры 1Л и 2Л на режимах холостого хода (0ПКМ) и под нагрузкой. Анализ показал, что вследствие заброса масла в полость цилиндра и дальнейшего его сгорания резко увеличились значения основных параметров рабочего процесса, таких как среднее индикаторное давление (MIP), индикаторная мощность (Pi), жесткость рабочего процесса (Vm) и степень повышения давления (Lmd) цилиндра 1Л по сравнению с цилиндром 2Л работающим исправно.



CYLINDER	rpm	Pmax	Pcomp	MIP	Pi	Pt	Vm	Lmd	Alf inj	Fi inl	Fi exh
1	656	61	30,4	10,81	81,6	11,6	1,64	2,01	12,5°	26,5°	32,5°
2	656	62,2	44,0	6,68	50,4	12,0	1,35	1,41	12°	24,5°	26°
Mean Parameters:											
	656	61,6	37,2	8,74	66,0	11,8	1,5	1,7	12,3	25,5	29,3

Рисунок 6.5 – Дымный выхлоп при сгорании масла внутри цилиндра на холостом ходу

Диагностика дизеля тепловоза ТЭП70-0427

При проведении реостатных испытаний тепловоза ТЭП70-0427 после планового ремонта в объеме ТР-3 была проведена диагностика дизель-генераторной установки тепловоза системой СМДд с целью оценки технического состояния топливной аппаратуры, цилиндропоршневой группы и механизма газораспределения.

Проведены следующие работы:

1. При первичной проверке работы ДГУ выявлена неправильная клапанов 8ПР и 6Л цилиндрических комплектов – присутствие посторонних стуков при работе клапанного механизма данных комплектов.

2. Для подтверждения выявленного замечания цилиндры 8ПР и 6Л были продиагностированы системой СМДд. По результатам диагностики замечание подтвердилось.

3. При дальнейшем проведении реостатных испытаний ДГУ тепловоза не выдала номинальную мощность. Было принято решение о проверке общего угла опережения подачи топлива. По результатам проверки общий угол опережения подачи составил 14° п.к.в. при нормативном значении $19-20^{\circ}$ п.к.в.

4. По результатам диагностирования системой СМДд цилиндров 8ПР и 6Л до регулировки общего угла опережения подачи топлива действительный угол опережения подачи топлива (Alf_{inj}) составил для цилиндра 8ПР – 8° п.к.в., для цилиндра 6Л – 1° п.к.в. при нормальном значении $12-14^{\circ}$ п.к.в. Максимальное давление сгорания P_{max} на режиме 0ПКМ-х.х. составило для цилиндра 8ПР – $39,7 \text{ кгс/см}^2$, для цилиндра 6Л – 37 кгс/см^2 .

5. После регулировки общего угла опережения подачи (ОУПТ) (увеличение на 4° п.к.в.) было проведено повторное диагностирование системой СМДд, по результатам которой были получены следующие данные - действительный угол опережения подачи топлива (Alf_{inj}) составил для цилиндра 8ПР – 12° п.к.в., для цилиндра 6Л – $4,5^{\circ}$ п.к.в. Максимальное давление сгорания P_{max} на режиме 0ПКМ-х.х. составило для цилиндра 8ПР – $40,5 \text{ кгс/см}^2$, для цилиндра 6Л – 41 кгс/см^2 .

Проведена регулировка фаз газораспределения:

- увеличение угла запаздывания закрытия впускных клапанов (Fi_{inl}):

Правый ряд: 1Ц – на 6° п.к.в., 2Ц – на 10° п.к.в., 3Ц – на 8° п.к.в., 4Ц – на 8° , 5Ц – на 6° п.к.в., 6Ц – на 8° п.к.в., 7Ц – на 7° п.к.в., 8Ц – на 8° п.к.в..

Левый ряд: 1Ц – на 8⁰ п.к.в., 2Ц – на 9⁰ п.к.в., 3Ц – на 9⁰ п.к.в., 4Ц – на 8⁰,
5Ц – на 7⁰ п.к.в., 6Ц – на 10⁰ п.к.в., 8Ц – на 8⁰ п.к.в..

- увеличение угла запаздывания закрытия выпускных клапанов (Fi exh):

Правый ряд: 1Ц – на 8⁰ п.к.в., 2Ц – на 8⁰ п.к.в., 3Ц – на 8⁰ п.к.в., 4Ц – на 8⁰,
5Ц – на 8⁰ п.к.в., 6Ц – на 9⁰ п.к.в., 7Ц – на 8⁰ п.к.в., 8Ц – на 9⁰ п.к.в..

Левый ряд: 1Ц – на 10⁰ п.к.в., 2Ц – на 9⁰ п.к.в., 3Ц – на 9⁰ п.к.в., 4Ц – на 10⁰,
5Ц – на 10⁰ п.к.в., 6Ц – на 8⁰ п.к.в., 8Ц – на 9⁰ п.к.в..

Сводный отчет диагностики дизеля тепловоза ТЭП70-0427 до и после регулировки представлен на рисунке 6.6.

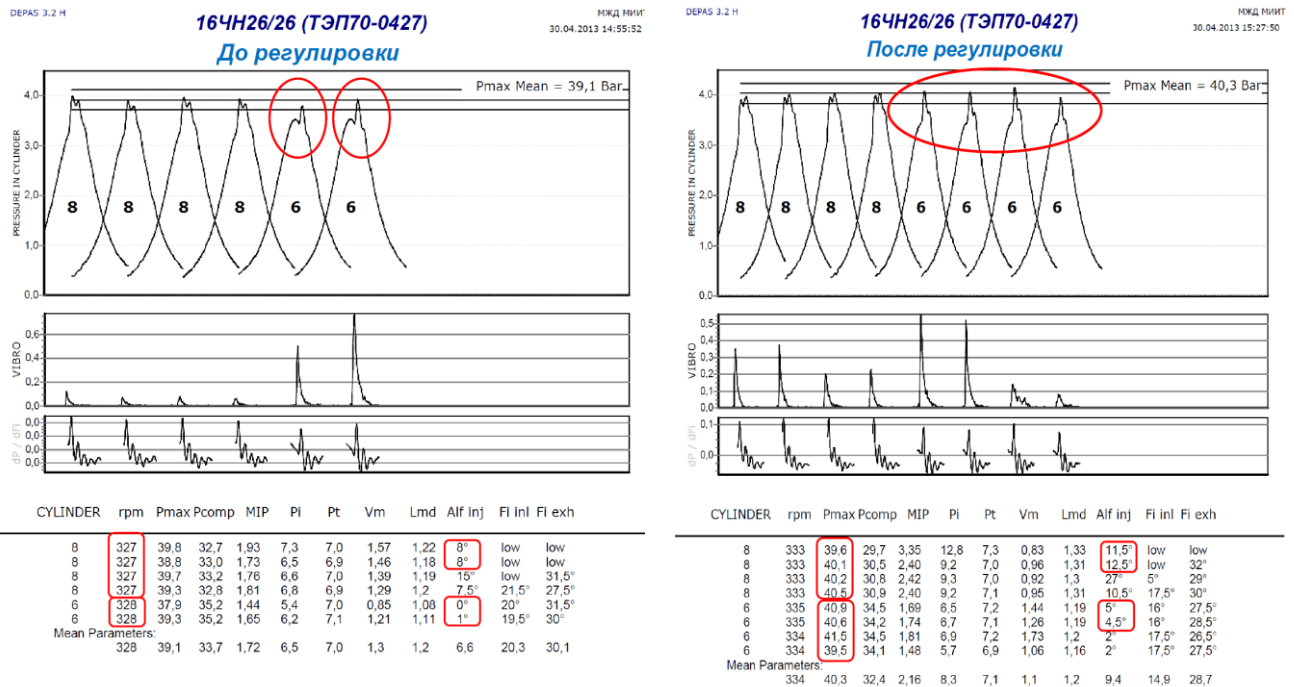


Рисунок 6.6 - Сводный отчет диагностики дизеля тепловоза ТЭП70-0427 до и после регулировки

6.3 Особенности диагностирования дизелей типа Д49 (ЧН26/26) механотестером топливной аппаратуры МТА-2

При подготовке к диагностированию наиболее трудоемкими являются монтажные операции, такие как – отсоединение трубки высокого давления от форсунки и ТНВД и присоединение её обратно, установка МТА-2 на форсунку.

Время диагностирования одной форсунки составляет 5-8 мин., включая установку МТА-2, снятие показаний и демонтаж прибора.

Были применены 2 способа проведения диагностирования форсунок дизелей типа 16ЧН26/26:

1. Диагностирование каждой форсунки, включая полный объем операций по демонтажу и обратной установке трубки высокого давления.

2. Предварительный демонтаж трубок высокого давления с каждого цилиндра и последующее диагностирование форсунок.

Затраты времени на проведение основных операций при диагностировании форсунок механотестером МТА-2 следующие: 16ЧН26/26 – 176 мин; 12ЧН26/26 -132 мин; 8ЧН26/26 – 88 мин; и 6ЧН31/36 -72мин.

Анализ среднесетевой продолжительности ТО-2, ТО-3 и ТР-1 показывает, что диагностирование тепловозного дизеля на ТО-2 могут выполнить только два оператора, а для остальных видов ТО достаточно одного.

Диагностирование форсунок тепловозных дизелей механотестером МТА-2 проводилось в Ногинском ППЖТ на тепловозах ТГМ6 (дизель 3А-6Д49) и в локомотивном депо Елец ЮВЖД на тепловозах 2ТЭ116 и ТЭП70 (дизели типа 5Д49). Результаты диагностики форсунок дизеля ТГМ6В-0008 Ногинского ППЖТ представлены в таблице 6.2.

Необходимо провести ревизию и/или замену форсунок 2Л, 3Л и 4ПР цилиндров, отрегулировать форсунки 2Л и 3Л цилиндров на номинальное давление начала впрыска.

Результаты диагностики форсунок дизелей тепловозов механотестером МТА-2 в депо Елец представлены в таблице 6.3.

Анализ представленных данных говорит, что обе продиагностированные форсунки находятся в исправном техническом состоянии. Качество распыла топлива и гидроплотность распылителей находятся в норме. Однако величина давления начала впрыска у проверенных форсунок не соответствует норме. Для

приведения в норму необходимо отрегулировать данные форсунки на номинальное значение величины давления начала впрыска.

Таблица 6.2 - Данные проверки и регулировки форсунок тепловоза ТГМ6В-0008

№ п/п	№ цилиндра	$P_{нач.}^{впр.}$, кгс/см ²		Время падения давления с 20 до 15 МПа (гидроплотность), с	Динамика впрыска (звучность)	Общее заключение	
		Номинальное значение	Измеренное значение			Необх. регул. $P_{нач.}^{впр.}$	Пригодность к дальнейшей работе (допуск./не допуск.)
Левый ряд							
1.	4	320±5	315	2	дробящий	нет	допуск.
2.	3	320±5	290	2	дробящий	да	не допуск.
3.	2	320±5	280	2	дробящий	да	не допуск.
4.	1	320±5	320	2	дробящий	нет	допуск.
Правый ряд							
5.	1	320±5	305	5	дробящий	да	допуск.
6.	2	320±5	310	3	дробящий	да	допуск.
7.	3	320±5	310	2	дробящий	да	допуск.
8.	4	320±5	310	3	льющий	да	недопуск.

6.4 Выводы по главе

Рассмотрены практические результаты, включающие в себя рекомендации, выдаваемые по результатам диагностики системами СМДд и МТА-2 и используемые в технологическом процессе ТО и ТР тепловозов в локомотивных депо

По результатам проведенных эксплуатационных испытаний было определено время на выполнение основных операций при диагностировании системой СМДд: 16ЧН26/26 – 64 - 104 мин; 12ЧН26/26 -48 - 78 мин; 8ЧН26/26 – 32 - 52 мин и 6ЧН31/36 – 24-48 мин.

Затраты времени на проведение основных операций при диагностировании форсунок механотестером МТА-2: 16ЧН26/26 – 176 мин; 12ЧН26/26 -132 мин; 8ЧН26/26 – 88 мин; и 6ЧН31/36 -72мин.

Таблица 6.3 - Данные проверки форсунок дизелей тепловозов: ТЭП70-0085 и 0492

№ п/п	№ цилиндра	$P_{нач.}^{впр.}$, кгс/см ²		Гидроплотность, с)	Динамика впрыска (звучность)	Общее заключение	
		Номин. значение	Измерен. значение			Необх. регул. $P_{нач.}^{впр.}$	(допуск./не допуск.)
Тепловоз ТЭП70-0085							
Правый ряд							
1.	1	320±5	280	4	дробящий	да	допуск
2.	2	320±5	280	4,6	дробящий	да	допуск
3.	3	320±5	265	1	дробящий	да	не допуск
4.	4	320±5	300	3	дробящий	да	не допуск
5.	5	320±5	290	3,5	дробящий	да	допуск
6.	6	320±5	290	2	дробящий	да	не допуск
7.	7	320±5	275	2	дробящий	да	не допуск
8.	8	320±5	290	2	льющий	да	не допуск
Левый ряд							
9.	1	320±5	295	5,8	дробящий	да	допуск
10.	2	320±5	260	6	дробящий	да	допуск
11.	3	320±5	275	5	дробящий	да	допуск
12.	4	320±5	285	2	дробящий	да	не допуск
13.	5	320±5	295	1,5	льющий	да	не допуск
14.	6	320±5	290	5	дробящий	да	допуск
15.	7	320±5	275	2	дробящий	да	не допуск
16.	8	320±5	250	5,5	льющий	да	допуск
Тепловоз ТЭП70-0492							
Правый ряд							
1.	1	320±5	265	1	дробящий	да	не допуск
2.	2	320±5	300	3	дробящий	да	допуск
3.	3	320±5	300	3	дробящий	да	допуск
4.	4	320±5	300	4	дробящий	да	допуск
5.	5	320±5	260	3,5	дробящий	да	допуск
6.	6	320±5	290	5	дробящий	да	допуск
7.	7	320±5	270	5	дробящий	да	допуск
8.	8	320±5	300	4	дробящий	да	допуск
Левый ряд							
9.	1	320±5	300	4	дробящий	да	допуск
10.	2	320±5	290	1	дробящий	да	не допуск
11.	3	320±5	300	3	дробящий	да	допускается
12.	4	320±5	290	2	льющий	да	не допуск
13.	5	320±5	290	3	дробящий	да	допуск
14.	6	320±5	290	3	дробящий	да	допуск
15.	7	320±5	300	3	дробящий	да	допуск
16.	8	320±5	300	3,5	дробящий	да	допуск

7 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СРЕДСТВ ОПЕРАТИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ

Экономическая эффективность от внедрения переносного диагностического комплекса рассчитана с использованием результатом опытной эксплуатации ПДК в депо «Елец» Юго-Восточной железной дороги и с учетом данных ЦТех и «ТМХ-Сервис» за период 2014-2016 г. [100, 101, 110, 168].

Эффектообразующими факторами, выявленными в главе 3, в случае применения оперативной диагностики являются:

- снижение вероятности unplanned ремонта и, соответственно сокращение числа unplanned ремонтов в среднем по парку тепловозов депо;
- снижение расхода топлива дизелем после проведения настройки и регулировки на основании диагностической информации;
- снижение расхода топлива во время проведения диагностических операций;
- сокращение времени простоя тепловоза на реостатных испытаниях и, соответственно упущенной выгоды от вывода тепловоза из эксплуатации;
- сокращение затрат на диагностическое оборудование.

7.1 Годовой экономический эффект от применения средств оперативной диагностики

Исходные данные для экономических расчетов принимались в соответствии с результатами опытной эксплуатации новой системы диагностики, рассмотренными в главе 6.

Годовой экономический эффект, полученный от применения оперативной диагностики по сравнению со стационарными средствами диагностирования

$$\mathcal{E}_Г = \Delta S_{СД} - \Delta S_{ОД} \quad (7.1)$$

где $\Delta S_{\text{СД}}$ – снижение затрат от применения средств стационарного диагностирования;

$\Delta S_{\text{ОД}}$ - снижение затрат от применения средств оперативной диагностики.

Результаты расчета годового экономического эффекта от применения средств оперативной диагностики представлены в таблице 7.1.

Расчет годового экономического эффекта от применения средств оперативной диагностики представлен в приложении Е.

Таким образом, годовой экономический эффект, согласно формуле (7.1), от применения переносного диагностического комплекса совместно со стационарной диагностикой в ремонтном депо, по сравнению со средствами стационарной диагностики, составит

$$\mathcal{E}_{\Gamma} = 3877700 - 3512500 = 651600 \text{ руб./год.}$$

Расчеты показывают, что применение оперативной диагностики вместо стационарной приводит к убытку в 365200 руб., а применение совместно со стационарной дает прибыль в 651600 руб./год, т.е. оперативная диагностика не может заменить стационарную, но в качестве дополнения к ней, позволяет получить существенную экономию.

Срок окупаемости затрат, связанных с внедрением новой техники и технологии, рассчитывается из выражения [100].

$$T_{\text{ОК}} = \frac{C_{\text{СИСТ}}}{\mathcal{E}_{\Gamma}} \quad (7.2)$$

$$T_{\text{ОК}} = 600000 / 578400 = 1,04 \text{ года.}$$

Таблица 7.1 – Сопоставление составляющих экономического эффекта

№, п/п	Содержание	Только стационарная диагностика	Только оперативная диагностика	Оперативная диагностика помимо стационарной
1.	Стоимость проведения процесса диагностирования $S_{\text{ДИАГ}}$, руб.	720,96	234,31	234,31
2.	Расход топлива на работу тепловоза во время проведения диагностики $E_{\text{д}}$, кг	400	120	120
3.	Снижение расхода топлива в эксплуатации на основании диагностических данных ΔE за год, кг	144000	120000	24000
4.	Количество заходов тепловоза на диагностику за год $n_{\text{ТОР}}$, ед.	3	6	6
5.	Затраты на топливо за год эксплуатации одного локомотива с исправлением нарушений настройки топливной аппаратуры дизеля по результатам диагностирования $\Delta S_{\text{Т}}$, руб.	4320000	3600000	720000
6.	Упущенная выгода от простоя во время проведения диагностических операций $\Delta S_{\text{ПД}}$, руб.	174000	0	0
7.	Сокращение затрат на неплановый ремонт $\Delta S_{\text{НР}}$, руб.	11700	7300	26400
8.	Денежные затраты на топливо, при проведении диагностирования рассматриваемыми диагностическими средствами $S_{\text{Е}}$, руб.	36000	21600	21600
9.	Годовые эксплуатационные расходы на диагностическое оборудование $S_{\text{Э}}$, руб.	244000	73200	73200
10.	Снижение затрат от применения рассматриваемых средств диагностики $\Delta S_{\text{СД}}, \Delta S_{\text{ОД}}$	3877700	3512500	651600
11.	Годовой экономический эффект от применения средств оперативной диагностики по сравнению со средствами стационарной диагностики $\Delta \Gamma$, руб.	-365200		651600
12.	Срок окупаемости $T_{\text{ОК}}$, г.	0,52		0,92

7.2 Расчет общей эффективности применения средств оперативной диагностики с использованием системы дисконтирования

Для более точного расчета показателей эффективности внедрения разработанного прибора, методики контроля угла опережения впрыска и неисправностей форсунок необходимо произвести расчет общей эффективности с использованием системы дисконтирования [110, 159].

Величина чистого дисконтированного (конечного) дохода (ЧДД) при постоянной норме дисконта определяется по формуле:

$$\text{ЧДД} = \sum_{i=0}^t (R_i - Z_i) \cdot \frac{1}{(1 + E)^P} \quad (7.3)$$

где R_i – результаты (прибыль), достигаемые на i -м шаге расчета;

Z_i – текущие издержки за минусом амортизации и плюс инвестиции (капитальные и некапитальные вложения в проект) на i -м шаге;

E – норма дисконта (процентная ставка), принимается в размере 10%;

P – горизонт расчета (номер года эксплуатации).

Критерием эффективности проекта является выполнение условия $\text{ЧДД} > 0$. Для рассматриваемого случая величина доходов на каждом шаге дисконтирования (кроме нулевого года) постоянна и равна произведению величин разности стоимости топлива за год как при работе дизеля с неверным (скрытая неисправность) углом опережения подачи топлива, так и при работе с углом опережения подачи топлива, который соответствует нормативным значениям.

С учетом годовых эксплуатационных расходов (73200 руб.) чистый доход составит $651600 - 73200 = 578400$ руб.

Таким образом, чистая годовая прибыль на 1 диагностируемый локомотив составит:

$$R = \Delta_1 = 578400 \text{ руб.}$$

Годовая прибыль для парка диагностируемых локомотивов $N=50$ секций тепловозов 2ТЭ116 локомотивного депо «Елец» подразделения Юго-Восточной

дирекции по ремонту ТПС ОАО «РЖД» при коэффициенте охвата парка средствами диагностики $K_{\text{ОХВ}}=30\%$ составит:

$$R = \Xi_{\Gamma} \cdot N \cdot K_{\text{ОХВ}} / 100 \quad (7.4)$$

$$R = 578400 \cdot 50 \cdot 30 / 100 = 8676000 \text{ руб.}$$

Величина текущих издержек принимается равной общим затратам на внедрение новых технологий для нулевого года, а для остальных лет она равна величине эксплуатационных расходов, рассчитанных по формуле (Е.13) (см. приложение Е).

Расчет чистого дисконтированного дохода для нормативного срока службы оборудования представлен в таблице 7.2 и на рисунке 7.1.

Таблица 7.2 – Результаты расчета чистого дисконтированного дохода

Номер года	Снижение затрат на топливо, руб.	Затраты, руб.	Доход, руб.	$ЧДД_i$, руб.	$ЧДД$, руб.
0	0	600 000	-600 000	-600 000	-600 000
1	651600	73200	578400	459272	-140728
2	651600	73200	578400	417520	276792
3	651600	73200	578400	379564	656356
4	651600	73200	578400	345058	1001414
5	651600	73200	578400	313689	1315103
6	651600	73200	578400	285172	1600275
7	651600	73200	578400	259247	1859522
8	651600	73200	578400	235679	2095201
9	651600	73200	578400	214254	2309455
10	651600	73200	578400	194776	2504231

Для более полной характеристики проекта необходимо рассчитать индекс доходности или рентабельность инвестиций по следующей формуле:

$$\text{ИД} = \frac{\text{ЧДД}}{\text{Ц}_{\text{СИСТ}}} \quad (7.5)$$

Подставив соответствующие значения в формулу (7.5), получим

$$\text{ИД} = \frac{578400 \cdot 100}{600000} = 96,4\%$$

Результаты расчета эффективности применения средств оперативной диагностики тепловозных дизелей выглядят следующим образом:

1. Чистый дисконтированный доход – **578400 руб.**
2. Индекс доходности – **96,4 %.**
3. Срок окупаемости прибора – **1,04 года.**

Доход за нормативный срок службы прибора (10 лет) на 1 тепловоз составит **2504231 руб.** Таким образом, выполняется условие $\text{ЧДД} > 0$, следовательно, рассматриваемый проект эффективен с экономической точки зрения.

Дисконтированный срок окупаемости для проектов с единовременными капитальными вложениями может быть определен аналитически по следующей формуле [112]:

$$T_{\text{ОК}}^{\text{д}} = \frac{-\ln(1 - E \cdot T_{\text{ОК}})}{\ln(1 + E)} \quad (7.6)$$

Подставляя в формулу (7.6) величины $E=0,1$; $T_{\text{ОК}}=1,04$, получим дисконтированный срок окупаемости прибора для диагностирования угла опережения подачи топлива, равный 1,16 годам.

Показатели эффективности применения оперативной диагностики тепловозных дизелей доказывают целесообразность ее внедрения в систему технического обслуживания и ремонта подвижного состава.

В заключение следует отметить, что оперативный диагностический контроль позволит не только снизить расход топлива, но и сократить простои теп-

ловозов, связанные с ухудшением их технического состояния, а также снизить вероятность unplanned ремонтов.

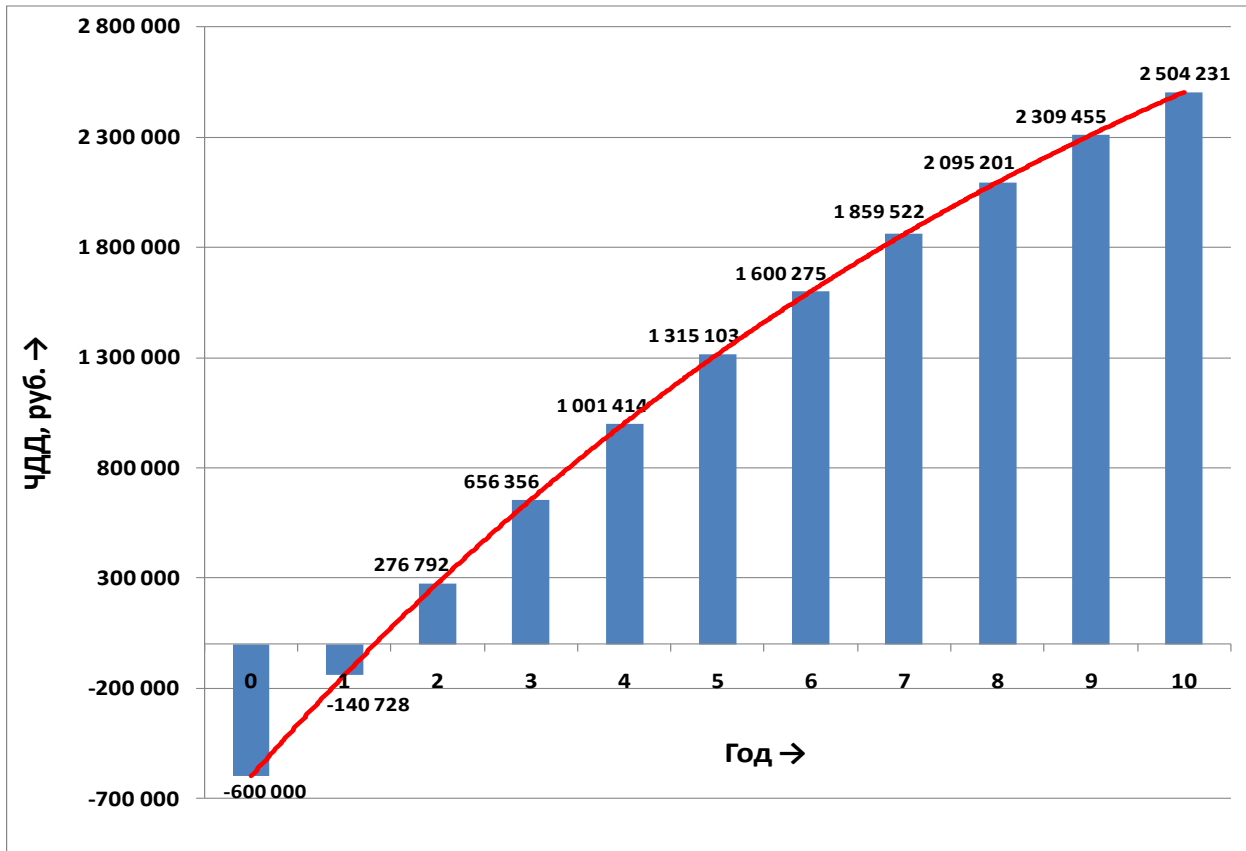


Рисунок 7.1– Изменение чистого дисконтированного дохода по годам

7.3 Выводы по главе

1. Расчеты показали эффективность внедрения переносного диагностического комплекса ПДК для оценки технического состояния дизелей тепловозов по параметрам рабочего процесса, топливной аппаратуры, механизма газораспределения и цилиндропоршневой группы в процессе эксплуатации.

2. Ожидаемый экономический эффект от внедрения переносного диагностического комплекса ПДК составит **578400 руб. в год на 1 тепловоз типа 2ТЭ116**. Чистый дисконтированный доход за расчетный срок службы оборудования (10 лет) составит **2504231 руб.**Срок окупаемости дополнительных затрат составит **1,16 года**.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований получены новые научно обоснованные технические и технологические решения, направленные на совершенствование технологии диагностирования дизелей тепловозов. Применение разработанной методики диагностирования, а также устройств, реализующих указанную методику, позволит повысить эксплуатационную эффективность тепловозных дизелей.

Основные научные и практические результаты диссертационной работы состоят в следующем:

1. Разработана комплексная система оперативной диагностики тепловозного дизеля, использующая результаты индицирования параметров рабочего процесса в цилиндре дизеля, измерения и диагностики цилиндропоршневой группы, топливной аппаратуры и механизма газораспределения в условиях эксплуатации и соответствующие технические устройства.

2. Сформулированы принципы проведения оперативной диагностики параметров рабочего процесса, учитывающих специфику эксплуатации дизелей тепловозов.

3. Разработана методика проведения оперативного диагностического контроля технического состояния топливной аппаратуры, механизма газораспределения и цилиндропоршневой группы. Создан переносной диагностический комплекс, применительно для тепловозных дизелей, позволяющий реализовать предложенную методику оперативного контроля.

4. Установлена взаимосвязь между диагностическими параметрами контроля рабочего процесса дизеля и параметрами надежности ресурса, экологическими и экономическими характеристиками работы дизеля, позволяющими определить его техническое состояние как в межремонтные периоды эксплуатации, так и при проведении плановых видов технического обслуживания и ремонта (ТО и ТР).

5. Проведена оценка эффективности предложенного метода оперативного диагностического контроля параметров рабочего процесса дизеля и надежности работы узлов топливной аппаратуры, механизма газораспределения и цилиндропоршневой группы.

6. Представленные в работе результаты практического использования комплексной системы оперативной диагностики тепловозных дизелей могут быть рекомендованы для сервисных локомотивных депо, как важная составная часть единой системы мониторинга технического состояния локомотивов, позволяющая получать оперативно, по сравнению со стационарными системами диагностики, уточнённые диагностические параметры.

7. Перспективами дальнейшей разработки темы работы являются уточнение полученной экспериментальной зависимости в виде объясняющего полинома, связанное с влиянием работы турбокомпрессора на режимах работы дизеля выше 10 ПКМ, а также совершенствование составляющих комплексной системы оперативной диагностики тепловозных дизелей с целью повышения эффективности её использования в единой системе мониторинга технического состояния локомотивов.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ВМТ	- верхняя мертвая точка;
ДВС	- двигатель внутреннего сгорания;
ДГУ	- дизель-генераторная установка;
КВ	- коленчатый вал;
КШМ	- кривошипно-шатунный механизм;
МГР	- механизм газораспределения;
НМТ	- нижняя мертвая точка;
НР	- неплановый ремонт;
ПКМ	- позиция контроллера машиниста;
ПО	- программное обеспечение;
ПРП	- параметры рабочего процесса;
РИ	- реостатные испытания;
САР	- система автоматического регулирования;
СТД	- система технической диагностики;
ТА	- топливная аппаратура;
ТК	- турбокомпрессор;
ТНВ	- теплообменник надувочного воздуха;
ТНВД	- топливный насос высокого давления;
ТО	- техническое обслуживание;
ТР	- текущий ремонт;
ЦПГ	- цилиндропоршневая группа;
ЭВМ	- электронно-вычислительная машина;
ЭДТ	- блок электро-динамического торможения;
ЭС	- экспертная система.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Аболмасов, А.А. Управление техническим состоянием тягового подвижного состава в условиях сервисного обслуживания: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Аболмасов Алексей Александрович. – М.: МИИТ, 2017. – 193 с.
2. Автоматизированная система оперативного контроля объектов. Автономное рабочее место испытателя тепловозов «ОКО-Арамис». Руководство по эксплуатации: ОИКС.421457.050РЭ [Текст] / – Омск: 2012. – 45 с.
3. Айвазян, С.А. Прикладная статистика и основы эконометрики / С.А. Айвазян, В.С. Мхитарян [Текст] / – М.: Изд. об. «Юнити», 1998. – 1006 с.
4. Александров, А.В. Методические основы разработки диагностического комплекса для оценки технического состояния автомобильных двигателей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / Александров Антон Вячеславович. – Москва, 2013. – 20 с.
5. Алиев, А.М. Совершенствование метода и разработка средств диагностирования плунжерных пар при техническом сервисе топливной аппаратуры дизелей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Алиев Арсен Магомедович. – Москва, 2011. – 16 с.
6. Аппаратно-программный комплекс «БОРТ». Руководство по эксплуатации 10ДК.318558.041-01 РЭ [Текст] – 2004. – 41 с.
7. Ахмедов, Б.Ш. Оценка состояния цилиндропоршневой группы тепловозного дизеля в эксплуатации: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Ахмедов Бахтиер Шамуратович. – М., 1984. – 23 с.
8. Балабин, В.Н. Комплексная система контроля и диагностики тепловозных дизелей [Текст] / В.Н. Балабин, В.З. Какоткин, И.И. Лобанов, В.А. Чечет // Тяжелое машиностроение. - 2014. - №7. - С. 34-39.
9. Балабин, В.Н. Комплексная система мониторинга дизельных двигателей [Текст] / В.Н. Балабин, В.З. Какоткин, И.И. Лобанов // Железнодорожный

транспорт. - 2011. - №12. - С. 50-51.

10. Балабин, В.Н. Комплексная система управления техническим состоянием транспортного, машиностроительного и энергетического оборудования [Текст] / В.Н. Балабин, В.З. Какоткин, И.И. Лобанов // Труды XII научно-практической конференции «Безопасность движения поездов», октябрь 2011 г. - М.: МИИТ, 2011. - С. V-5.

11. Балабин, В.Н. Новая система мониторинга транспортных двигателей внутреннего сгорания [Текст] / В.Н. Балабин, В.З. Какоткин, И.И. Лобанов // Наука и транспорт. Приложение к журналу «Транспорт РФ». - №9. – СПб.: 2009. – С. 54-57.

12. Балабин, В.Н. Повышение надёжности и снижение прогрессирующих энергетических и экологических издержек транспортных ДВС путём применения современных систем оперативного контроля и диагностики [Текст] / В.Н. Балабин, В.З. Какоткин, И.И. Лобанов, В.А. Чечет // Труды XI научно-практической конференции «Безопасность движения поездов», октябрь 2010 г. - М.: МИИТ, 2010. - С. V-4.

13. Балабин, В.Н. Повышение эксплуатационной эффективности транспортных ДВС путём применения современных систем оперативного мониторинга [Текст] / В.Н. Балабин, В.З. Какоткин, И.И. Лобанов, В.А. Чечет // Труды X научно-практической конференции «Безопасность движения поездов», октябрь 2009 г. - М.: МИИТ, 2009. -С. V-8.

14. Балабин, В.Н. Применение системы СМДд для проведения оперативного диагностирования силовых установок тепловозов ТЭП70 в депо ТЧР-21 Елец [Текст] / И.И. Лобанов, В.Н. Балабин, В.З. Какоткин // Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов: материалы первой международной научно-практической конференции. - М.: ООО «ТМХ-Сервис», 2014 г. - С.70-72.

15. Балабин, В.Н. Применение системы СМДд для проведения оперативного диагностирования силовых установок тепловозов ТЭП70 в депо ТЧР-21 Елец [Текст] / В.Н. Балабин, В.З. Какоткин, И.И. Лобанов // Перспективы развития сервисного обслуживания локомотивов: материалы первой международной научно-практической конференции. - М.: ООО «ТМХ-Сервис», 2014 г. - С. 70-72.
16. Балабин, В.Н. Результаты применения комплексной системы контроля и диагностики локомотивных дизелей [Текст] / В.Н. Балабин, В.З. Какоткин, И.И. Лобанов // Современные наукоемкие технологии. - М.: Издательский дом Академия естествознания, 2014. - №9 - С. 11-16.
17. Балабин, В.Н. Системы оперативной диагностики дизелей типа ЧН26/26 [Текст] / В.Н. Балабин, В.З. Какоткин, И.И. Лобанов // Повышение эффективности использования и совершенствование системы технического обслуживания и ремонта локомотивов: Межвуз. темат. сб. науч. тр. / Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2014. - С. 31-35.
18. Балабин, В.Н. Экспресс-диагностика тепловозных дизелей [Текст] / В.Н. Балабин, В.З. Какоткин, И.И. Лобанов // Мир транспорта. - 2012. - №3. - С. 38-43.
19. Балабин, В.Н. Системы оперативной диагностики дизелей типа ЧН26/26 [Текст] / И.И. Лобанов, В.Н. Балабин, В.З. Какоткин // Повышение эффективности использования и совершенствование системы технического обслуживания и ремонта локомотивов: Межвуз. темат. сб. науч. тр./ Омский гос. ун-т путей сообщения. Омск, 2014. - С. 31-35.
20. Балагин, Д.В. Анализ уровня надежности тепловозов в период жизненного цикла [Текст] / Д.В. Балагин, Р.Ю. Якушин, А.А. Колмаков // Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава: Материалы третьей всероссийской научно-

технической конференции с международным участием в трех частях. Часть 1 / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск: 2015. - С. 120-127.

21. Балагин, Д.В. Совершенствование технологии контроля технического состояния топливной аппаратуры тепловозных дизелей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Балагин Дмитрий Владимирович. – Омск, 2013. – 18 с.

22. Балагин, Д.В. Экспериментальные исследования тепловых процессов в трубопроводах высокого давления топливной аппаратуры дизелей / Д.В. Балагин // Омский научный вестник. – 2012. – № 3 (113). – С. 142 – 145.

23. Бахтиаров, Н.И. Повышение надежности работы прецизионных пар топливной аппаратуры дизелей [Текст] / Н.И. Бахтиаров, В.Е. Логинов, И.И. Лихачев. – М.: Машиностроение, 1972. – 200 с.

24. Башлыков, А.А. Технология построения экспертных систем для оперативной диагностики оборудования атомных энергоблоков [Текст] / А.А. Башлыков // Программные продукты и системы.-Тверь: 2012. - №2. С.121-125.

25. Белова, Е.Е. Назначение гарантийных сроков эксплуатации на основе анализа их показателей надежности: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Белова Елена Евгеньевна. – Санкт-Петербург, 2016. – 269 с.

26. Березюков, Д.С. Разработка метода безразборного диагностирования электромагнитных форсунок ДВС с впрыском легкого топлива и исследование изменений их рабочих показателей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / Березюков Денис Сергеевич. – Волгоград, 2012. – 16 с.

27. Блинов, П.Н. Совершенствование технического обслуживания и ремонта топливной аппаратуры тепловозных дизелей: дис. ... канд. техн. наук : 06.22.07 / Блинов Павел Николаевич. – Омск, 1986. – 170 с.

28. Булыгин, Ю.И. Повышение эффективности контроля работы дизелей подвижного состава: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Булыгин Юрий Игоревич. – Ростов-на-Дону: 1994. – 18 с.

29. Валиев, М.Ш. Повышение эффективности работы тепловозов средствами бортовых систем диагностирования: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07/ Валиев Мухаммад Шералиевич. - Санкт-Петербург, 2011. – 20 с.
30. Варбанец, Р.А. DFM – система интернет-мониторинга транспортного судна [Текст] / Р.А. Варбанец // Информационный морской журнал Korabel.ru. – 2011. №1 (11). - С. 48-49.
31. Варбанец, Р.А. Диагностический контроль рабочего процесса судовых дизелей в эксплуатации: автореф. дисс. ... докт. техн. наук: 05.05.03 / Варбанец Роман Анатольевич. – Одесса: 2010, - 39 с.
32. Варбанец, Р.А. Использование принципов нечеткой логики в экспертной системе технической диагностики судовых двигателей внутреннего сгорания [Текст] / Р.А. Варбанец, В.Г. Ивановский, А.П. Бень // Искусственный интеллект. - 2010. №3. - С. 618-622.
33. Василевский, В.П. Повышение срока службы форсунок автотракторных дизелей путем уменьшения интенсивности их закоксовывания: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05. 04. 02 / Василевский Владимир Павлович. – М., 1987. – 17 с.
34. Васильев-Южин, Р.М. Работа судового дизеля в неспецификационных условиях [Текст] / Р.М. Васильев-Южин // Ленинград: Судостроение. – 1967. - 160 с.
35. Васькевич, Ф.А. Повышение эффективности эксплуатации главных судовых дизелей методами регулирования и диагностики топливной аппаратуры: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.08.05 / Васькевич Федор Афанасьевич. – Санкт-Петербург, 2009. – 51 с.
36. Вибе, И.И. Новое о рабочем цикле двигателей [Текст] / И.И. Вибе. – М.: Машгиз, 1962. – 271 с.
37. Викулов, С.В. Методы построения алгоритмов диагностирования элементов судовых дизелей на основе системного подхода: автореф. дис. ...

докт. техн. наук: 05.08.05 / Викулов Станислав Викторович. – Новосибирск, 2014. – 39 с.

38. Волкова, Л.Ю. Совершенствование диагностирования технического состояния форсунок тепловозных дизелей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Волкова Лариса Юрьевна. – Омск, 2014. – 19 с.

39. Володин, А.И. Локомотивные двигатели внутреннего сгорания [Текст] / А.И.Володин // – 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Транспорт, - 1990. – 256 с.

40. Володин, А.И. Причины образования кокса в сопловых отверстиях распылителей форсунок дизелей [Текст] / А.И. Володин, Л.Ю. Михайлова, Ю.П. Макушев // Омский научный вестник: Серия «Приборы, машины и технологии». – Омск: ОмГТУ, 2013. – №1 (117). – С. 59-63.

41. Володин, А.И. Топливная экономичность силовых установок тепловозов [Текст] / А.И. Володин, Г.А. Фофанов // – М.: Транспорт, - 1979. – 126 с.

42. Володин, А.И. Опыт разработки и внедрения технических средств для оценки качества ремонта и настройки ДГУ тепловозов при реостатных испытаниях [Текст] / А.И. Володин, В.А. Четвергов // - М.: Транспорт, - 1986. - 51 с.

43. Володин, А.И.Эффективный контроль качества работы локомотивов [Текст] / А.И.Володин, В.З.Даминов, В.А.Четвергов //Железнодорожный транспорт. – 1982. – № 8. – С. 12-14.

44. Гизатуллин, Р.К. Методы и средства повышения эксплуатационной эффективности тепловозных дизелей: дисс. ... докт. техн. наук: 05.22.07 / Гизатуллин Растам Каримович. – Гомель: 1998, - 326 с.

45. Головаш, А.Н. Проблемы ремонта и настройки топливной аппаратуры тепловозов [Текст] / А.Н. Головаш // Локомотив. – 2007. –№10. – С. 30-33.

46. Гордукалова, Г.Ф. О Методах и процедурах информационной диагностики объекта [Текст] / Г.Ф. Гордукалова // Библиосфера. Новосибирск: 2008. № 1, С. 29-32.
47. Горский, А.В. Ремонт – только по результатам диагностики [Текст] / А.В. Горский, А.А. Воробьев, Б.М. Куанышев // Локомотивы, 1998. – № 12. – С. 37-39.
48. ГОСТ 32192-2013 Надежность в железнодорожной технике. Основные понятия. Термины и определения [Текст]. — Введ. 2013-12-30. — М.: Стандартиформ, 2013. — IV, 43 с.
49. ГОСТ Р 54461-2011 Надежность железнодорожного тягового подвижного состава. Термины и определения [Текст]. — Введ. 2012—07—01. — М.: Стандартиформ, 2012. — IV, 15 с.
50. ГОСТ Р 56046-2014 Показатели использования локомотивов. Термины и определения [Текст]. — Введ. 2014—09—01. — М.: Стандартиформ, 2014. — IV, 38 с.
51. ГОСТ Р 8.585-2001 Термопары. Номинальные статические характеристики преобразования [Текст]. – М.: Стандартиформ, - 2010. - 81 с.
52. Гребенюк, Е.А. Анализ и оперативная диагностика систем, описываемых нестационарными случайными процессами [Текст] / Е.А. Гребенюк // Проблемы управления. - М.: 2003. №4. С.23-29.
53. Гуревич, А.Н. Топливная аппаратура тепловозных дизелей [Текст] / А.Н. Гуревич // – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1971. – 113 с.
54. Дворкин, П.В. Совершенствование диагностического обеспечения тепловозных дизелей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Дворкин Павел Вадимович. – Санкт-Петербург, 2016. – 18 с.
55. Дизель-генератор 1А-9ДГ исп. 3. Руководство по эксплуатации 1А.9ДГ.62РЭ [Текст] / – Коломна: ОАО «Коломенский завод», 2008, - 409 с.

56. Дунаев, А.В. Разработка методов стендовых испытаний, контроля и управления техническим состоянием самоходных машин в агропромышленном комплексе: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01/ Дунаев Анатолий Васильевич. – Москва, 2017. – 39 с.
57. Елисеева, И.И. Практикум по эконометрике [Текст] / И.И. Елисеева, С.В. Курышева, Н.М. Гордеенко, И.В. Бабаева, Т.В. Костеева, Б.А. Михайлов // Под ред. И.И. Елисеевой. – М.: Финансы и статистика, - 2003. - 192 с.
58. Заикин, А.Н. Совершенствование системы технологической диагностики тепловозных дизелей [Текст] / А.Н. Заикин, И.И. Лобанов, В.Н. Балабин, // Труды VII научно-практической конференции «Наука транспорту», апрель 2006 г.- М.: МИИТ, 2006. -С. V-18.
59. Инструкция по применению комплекса интеллектуального производственного автоматизированных реостатных испытаний тепловозов (КИПА-РИС)[Текст] / - Омск, 2000. – 85 с.
60. Инструкция по эксплуатации «Diesel Discovery» DET-07-014 [Текст] / - Одесса: Digital Engineering Technology. – 2014. -48 с.
61. Итоги работы локомотивного комплекса 2008-2014 гг.[Текст] / – М.: - 2015. – 99 с.
62. Какоткин В.З. Оценка технического состояния топливной аппаратуры и цилиндропоршневой группы тепловозных дизелей. Методические указания[Текст] / В.З. Какоткин, В.Н. Балабин // – М.: МИИТ, 2007. – 24 с.
63. Калачин, С.В. Оптимизация режимов работы машинно-тракторного агрегата на основе непрерывного контроля интенсивности изменения его эксплуатационных параметров: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / Калачин Сергей Викторович. – Саранск, 2011. – 36 с.
64. Каплун, А.Н. Система «БИС-Р» для измерения эксплуатационного расхода топлива на тепловозах [Текст] / А.Н. Каплун // Двигатели внутреннего

сгорания / Научно-технический журнал. Харьков: НТУ «ХПИ». – 2005, №2(7) страницы (ЧП «Резерв-1», Украина).

65. Карминский, В.Д. Диагностирование технического состояния дизеля в эксплуатации на основе идентификации быстропротекающих рабочих процессов: дисс. ... докт. техн. наук.: 05.22.07 / Карминский Валерий Давыдович. – М.: 1987. – 203с.

66. Ким, С.И. Встроенная экспертная система для оперативной тестовой диагностики локомотива, оборудованного системой МСУ-Т(п,э) [Текст] / С.И. Ким, В.И. Харитонов, Е.В. Долганова, С.В. Ким // Бюллетень результатов научных исследований. - СПб.: 2014. №4(13). - С.46-50.

67. Киселев, Г.Г. Повышение топливной экономичности и эффективности эксплуатации дизель-генераторных установок тепловозов на основе контроля теплоэнергетических параметров: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Киселев Г.Г.; Самар. гос. академия путей сообщения. – Самара: СамГАПС, 2005. – 24 с.

68. Комплекс измерительный объема топлива тепловозов «Кварта». Руководство по эксплуатации: ЦАКТ.407369.001РЭ [Текст] / - Пенза, 2011. – 19 с.

69. Комплексы «Дизель-Адмирал». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.npkgarant.spb.ru/index.php/ct-menu-item-6/ct-menu-item-7>(дата обращения: 27.05.2017).

70. Комплексы централизованного контроля, диагностики и настройки технического состояния магистральных тепловозов КДН «Магистраль». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.all-pribors.ru>(дата обращения: 27.05.2017).

71. Контрольно-диагностический комплекс «Портал-Дон-02»: Паспорт [Текст] / - Воронеж, 2010. – 24 с.

72. Контрольно-диагностический комплекс «Портал-СПС-01/МПТ»: Паспорт [Текст] / - Воронеж, 2010. – 9 с.

73. Коньков, А.Ю. Основы технической диагностики локомотивов: учеб. Пособие [Текст] / А.Ю. Коньков // – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2007. – 98 с.
74. Коньков, А.Ю. Средства и метод диагностирования дизелей по индикаторной диаграмме рабочего процесса: моногр. [Текст] / А.Ю. Коньков, В.А. Лашко // – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2007. – 147 с.
75. Коссов, Е.Е. Оптимизация режимов работы тепловозных дизель-генераторов [Текст] / Е.Е.Коссов, С.И. Сухопаров // – М.: Интекст, 1999. – 184 с.
76. Костин, А.К. Работа дизелей в условиях эксплуатации [Текст] / А.К. Костин, Б.П. Пугачев, Ю.Ю. Кочинев // – Ленинград: Машиностроение, 1989. – 285 с.
77. Кочерга, В.Г. Технология оценивания износов и разрегулировок форсунки дизеля по результатам осциллографирования процессов на опрессовочном стенде [Текст] / В.Г. Кочерга, А.Ю. Коньков // Вестник института тяги и подвижного состава: межвуз. сб. науч. тр. / под ред. А.Е. Стецюка и Ю.А. Гамолы. – Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2009. – Вып. 6. – С. 36-38.
78. Кочерга, В.Г. Технология оценивания технического состояния форсунок дизелей [Текст] / В.Г. Кочерга // Наука–Хабаровскому краю: материалы XI краевого конкурса молодых ученых. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2009. – С. 43-55.
79. Криворудченко, В.Ф. Современные методы технической диагностики и неразрушающего контроля деталей и узлов подвижного состава железнодорожного транспорта: учебное пособие для вузов ж-д. транспорта [Текст] / В.Ф. Криворудченко, Р.А. Ахмеджанов // – М.: Маршрут, 2005. – 436 с.
80. Кулешов, А.С. Математическое моделирование и компьютерная оптимизация топливоподачи и рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания [Текст] / А.С. Кулешов, Л.В. Грехов // – М.: МГТУ, 2000. – 64 с.

81. Кулешов, А.С. Развитие методов расчета и оптимизация рабочих процессов ДВС: дисс. ... докт. техн. наук: 05.04.02 / Кулешов Андрей Сергеевич. – М.: 2011, - 235с.
82. Ладиков, В.В. Безразборные технологии увеличения эксплуатационного ресурса автотранспортной техники [Текст] / В.В. Ладиков, Г. Маркелов, В.А. Чечет, А.В. Дунаев, Н.М. Хмелевой, Д.А. Суслов // – М.: VICCO, 2004. – 52 с.
83. Лакин, И.И. Мониторинг технического состояния локомотивов по данным бортовых аппаратно-программных комплексов: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Лакин Игорь Игоревич. – М.: МИИТ, 2016. – 195 с.
84. Лашко, В.А. Диагностика угла опережения впрыска топлива и его влияние на протекание рабочего процесса дизеля[Текст] / В.А. Лашко, Ю.П. Макушев, Л.Ю. Михайлова // Материалы Межд. науч.-техн. конф. «Двигатели 2013». –Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2013. – С. 201-213.
85. Лебедев А. Система управления дизелями М533 для судна на воздушной каверне «Меркурий»[Текст] / А. Лебедев, С. Сафонов, А. Касаткин, В. Серегин // - М.: Современные технологии автоматизации. - 1999. №1. - С. 20-24.
86. Левин, М.И. Состояние и перспективы технической диагностики дизелей [Текст] / М.И. Левин, А.Г. Плоткин, А.С. Петров, А.А. Орлов // Двигатели внутреннего сгорания (ЦНИИТЭИТЯЖМАШ). – 1981. - №4-81-31. – 48 с.
87. Лепешкин, Д.И. Улучшение показателей дизеля в условиях эксплуатации повышением стабильности работы топливной аппаратуры: автореф. дис. ... канд.техн.наук: 05.04.02 / Лепешкин Дмитрий Игоревич. – Омск, 2015. – 19 с.
88. Липа, К.В. Мониторинг технического состояния и режимов эксплуатации локомотивов: теория и практика [Текст] / К.В. Липа, А.А. Белинский, В.Н. Пустовой, С.Л. Лянгасов, И.К. Лакин, А.А. Аболмасов, В.А. Мельников, И.И. Лакин, А.А. Баркунова, И.В. Пустовой // – М.: ООО «Локомотивные Технологии», 2015. – 212 с.

89. Липа, К.В. Мониторинг технического состояния локомотивов по данным бортовых микропроцессорных систем управления [Текст] / К.В. Липа, В.И. Гриненко, С.Л. Лянгасов, И.К. Лакин, А.А. Аболмасов, В.А. Мельников // – М.: ООО «ТМХ-Сервис», 2013. – 156 с.

90. Лобанов, И.И. Анализ эффективности применения системы СМДд для мониторинга технического состояния дизелей тепловозов [Текст] / И.И.Лобанов // Труды XI научно-практической конференции «Наука МИИТа - транспорту», апрель 2010 г. - М.: МИИТ, 2010. -С. I-31.

91. Лобанов, И.И. Комплексная система диагностики тепловозных дизелей [Текст] / И.И. Лобанов // Труды X научно-практической конференции «Наука МИИТа - транспорту», апрель 2009 г.- М.: МИИТ, 2009. -С. I-38.

92. Лобанов, И.И. Оперативная диагностика как резерв повышения надежности тепловозных дизелей [Текст] / И.И. Лобанов // Труды XII научно-практической конференции «Безопасность движения поездов», октябрь 2011 г.- М.: МИИТ, 2011. - С. V-19.

93. Лобанов, И.И. Особенности диагностирования дизелей типа ЧН26/26 системами СМДд и МТА-2 [Текст] / Лобанов И.И. // Труды XIII научно-практической конференции «Наука МИИТа - транспорту», апрель 2012 г.- М.: МИИТ, 2012. -С. III-51.

94. Лобанов, И.И. Применение средств оперативной диагностики в системе технического обслуживания и ремонта тепловозов [Текст] / И.И. Лобанов // Труды XIII научно-практической конференции «Наука МИИТа - транспорту», апрель 2012 г.- М.: МИИТ, 2012. -С. III-50.

95. Лобанов, И.И. Экспресс-диагностика тепловозных дизелей [Текст] / И.И.Лобанов, В.Н. Балабин, В.З. Какоткин // Труды V международной научно-практической конференции «Trans-Mech-Art-Chem», май 2008 г. - М.: МИИТ, 2008. -С. 146.

96. Лышевский, А.С. Колебательные процессы в топливных системах дизелей [Текст] / А.С. Лышевский, В.И. Кравченко // Ростов: Изд-во Ростовского университета, 1974. – 190 с.
97. Макушев, Ю.П. Датчики для осциллографирования процесса впрыска топлива в дизелях. Ориентированные фундаментальные и прикладные исследования – основа модернизации и инновационного развития архитектурно-строительного и дорожно-транспортного комплексов России [Текст] / Ю.П. Макушев, А.В. Филатов, Л.Ю. Михайлова // Матер. 66-й Межд. науч.-практ. конф. – Омск: СибАДИ, 2012. – Кн. 2. – С. 67-71.
98. Макушев, Ю.П. Методика диагностики топливной аппаратуры дизеля по изменению давления на входе в форсунку и движения иглы [Текст] / Ю.П. Макушев, Л.Ю. Михайлова, А.В. Филатов // Материалы Международной научно-практической конференции. – Пермь, 2012. – Т. 1. – С. 347-354.
99. Маркелов, А.А. Диагностирование дизеля по результатам расчетно-экспериментального исследования индикаторной диаграммы в условиях рядовой эксплуатации: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / Маркелов Андрей Александрович. – Хабаровск, 2007. – 20 с.
100. Методические рекомендации по обоснованию эффективности на железнодорожном транспорте [Текст] / – М.: ВНИИЖТ МПС, 1999. – 230 с.
101. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиций на железнодорожном транспорте [Текст] / – М.: Транспорт, 1997. – 52 с.
102. Михайлова, Л.Ю. Диагностирование форсунки и насоса высокого давления по анализу движения иглы [Текст] / Л.Ю. Михайлова // Омский научный вестник: Серия «Приборы, машины и технология». – Омск: ОмГТУ, 2012. – №3 (113). – С. 172-176.
103. Михеев, В.А. Математическая модель тепловозного дизеля как объекта контроля и диагностирования [Текст] / В.А. Михеев // Вестник СибАДИ №2 (16) / Омск: СибАДИ, 2010. - С. 58-65.

104. Михеев, В.А. Оценка технического состояния подсистем дизельной энергетической установки [Текст] / В.А. Михеев, П.Б. Сергеев // Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава: Материалы третьей всероссийской научно-технической конференции с международным участием в трех частях. Часть 1 Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск: 2015. - С.252-259.

105. Михеев, В.А. Совершенствование системы контроля технического состояния дизельного подвижного состава: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07/ Михеев Владислав Александрович. – Омск, 2011. – 218 с.

106. Муравьева, Е.А. Автоматизированное управление промышленными технологическими установками на основе многомерных логических регуляторов: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.13.06 / Муравьева Елена Александровна. – Уфа, 2013. – 35 с.

107. Мясников, Ю.Н. Судовые средства технического диагностирования судовых энергетических установок за рубежом[Текст] / Ю.Н.Мясников, А.А. Равин, Ю.Н. Чекалов // Судостроение. – 1979. - №7. - С. 113-116.

108. Наговицын, В.С. Совершенствование системы ремонта тягового подвижного состава железных дорог с учетом фактического технического состояния: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Наговицын Виктор Степанович. – М.: 2006. – 250 с.

109. Надеев, А.И. Диагностика технического состояния судовых дизелей на основе интеллектуального анализа данных [Текст] / А.И. Надеев, Буй Хай Нгок, Ф.В. Свирепов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. - 2011. - №2. – С.105-110.

110. Налоговый кодекс РФ (НК РФ) часть 2 от 05.08.2000. № 117 – ФЗ по состоянию на 01.04.2013 [Текст] / Справочно-правовая система Консультант.

111. Никитин, Е.А. Диагностирование дизелей [Текст] / Е.А.Никитин, Л.В.Станиславский, Э.А.Улановский и др. // - М.: Машиностроение, 1987. — 224с.
112. Носырев Д.Я. Научные основы контроля и диагностирования тепловозных дизелей по параметрам рабочих процессов [Текст] / Д.Я.Носырев, Е.М. Тарасов, А.С. Левченко, В.П. Мохонько // - Самара: СамИИТ, 2001. - 174 с.
113. Носырев, Д.Я. Научные основы контроля и диагностирования тепловозных дизелей по параметрам рабочих процессов: автореф. дисс. ... докт. техн. наук.: 05.22.07 / – Омск: 2000. - 45 с.
114. Обозов, А.А. Развитие методов и систем технического диагностирования [Текст] / А.А. Обозов, В.И. Таричко // Двигателестроение. – 2012. –№4 (250). – С. 3-34.
115. Обозов, А.А. Разработка теоретических основ и средств повышения эффективности систем технического диагностирования малооборотных дизелей: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.04.02/ Обозов Александр Алексеевич. – Брянск, 2010. – 36 с.
116. Обозов, А.А. Статистическая теория распознавания образов и алгоритмы диагностирования топливной аппаратуры судового двигателя [Текст] / А.А. Обозов // Двигателестроение. – 2008. – № 1 (231). – С. 31-35; № 2 (232, продолжение). – С. 44– 49.
117. Обухов, А.Д. Разработка комплекса нейросетевых моделей управления оперативной работой сортировочной станции: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.08 / Обухов Андрей Дмитриевич. – Санкт-Петербург, 2016. – 146 с.
118. Овчаренко, С.М. Алгоритм диагностирования деталей ЦПГ и КШМ дизелей типа 10Д100 [Текст] / С.М. Овчаренко // Омский институт инженеров ж.д. транспорта. Омск, 1990. - 34 с. Деп. в ЦНИИТЭИ МПС, № 5406.
119. Овчаренко, С.М. Анализ обеспеченности диагностического процесса [Текст] / С.М. Овчаренко, В.К. Фоменко // Повышение эффективности ис-

пользования и совершенствование системы технического обслуживания и ремонта локомотивов: межвуз. темат. сб. науч. трудов / Омский государственный университет путей сообщения; ред. А.И. Володин. – Омск: ОмГУПС, 2007. – 76 с.

120. Осяев А.Т. Концепция системы ремонта подвижного состава по техническому состоянию [Текст] / А.Т. Осяев, А.Б. Подшивалов // Локомотивы, 2000. – № 10. – С. 7-10.

121. Пальтов, С.А. Контроль рабочих процессов судовых двигателей с использованием электронных систем индицирования: дисс. ... канд. техн. наук: 05.08.05 / Пальтов Сергей Алексеевич. - Санкт-Петербург: 2010, -131 с.

122. Пахомов Э.А. Методы диагностики при эксплуатации тепловозов [Текст] / Э.А. Пахомов // - М.: Транспорт, - 1974. - 41 с.

123. Переносное устройство диагностирования топливной аппаратуры дизелей ППРФ-3 «ДЭСТА». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://dta-transport.ru> (дата обращения: 27.05.2017).

124. Петров, Ю.Д. Организация, нормирование и оплата труда на железнодорожном транспорте: учебник [Текст] / Ю.Д. Петров, М.В. Белкин и др. // – М.: Транспорт, 1998. – 279 с.

125. Подшивалов, А.Б. Диагностирование локомотивов [Текст] / А.Б. Подшивалов // Локомотив. - 1997. – №6 – С. 27-29.

126. Полковникова, Н.А. Об интеллектуальном анализе баз данных для экспертной системы [Текст] / Н.А. Полковникова, В.М. Курейчик // Информатика, вычислительная техника и инженерное образование. – 2013. – № 2 (13). – С. 1-12.

127. Положение об отнесении ответственности за учетные состояния локомотивов (введено в действие распоряжением от 12 сентября 2014 г. № 2146р) [Текст] / – М.: ОАО «РЖД», 2014. – 12 с.

128. Просвиров, Ю.Е. Методы и средства технического диагностирования локомотивов: учеб.пособие по специальности 17.09 – Локомотивы [Текст] / Ю.Е. Просвиров // Самар. ин-т инженеров ж.-д. транспорта им. М.Т. Елизарова. - Самара: - 1991. - 60 с.

129. Пункты технического обслуживания локомотивов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.niitkd.com/locomotivnoe/punkty-tekhnicheskogo-obsluzhivaniya-lokomotivov>(дата обращения: 27.05.2017).

130. Равин, А.А. Диагностическое обеспечение судового энергетического оборудования: проблемы и решения: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.08.05 / Равин Александр Александрович. – Санкт-Петербург, 2016. – 40 с.

131. Разработка методов и технических средств диагностирования топливной аппаратуры дизелей типа ПД1М на основе анализа вибросигналов: отчет №589 о НИР (заключительный) [Текст] / ОмИИТ; рук. работы А.И. Володин. – Омск: ОмИИТ, 1988. – 53 с.

132. Распоряжение от 23 декабря 2013 г. №2852р. Об утверждении положения по учёту, расследованию и проведению анализа случаев отказов в работе технических средств на инфраструктуре ОАО «РЖД» с использованием автоматизированной системы КАС АНТ [Текст] / – М.: ОАО «РЖД» , 2013 – 45 с.

133. Регистратор параметров работы тепловоза (РПРТ). Руководство по эксплуатации: КНГМ.421429.004РЭ [Текст] / - Москва, 2012. – 48 с.

134. Розенберг, Е.Н. Система КАСАНТ: задачи, возможности, перспективы развития [Текст] / Е.Н. Розенберг, И.Н. Розенберг, А.М. Замышляев., Г.Б.Прошин // Железнодорожный транспорт. - 2008. - №9. - С. 6-9.

135. Русаковский, М.А. Тепловизионная съемка как инструмент оценки энергосберегающего потенциала [Текст] / М.А. Русаковский // Энергосовет. – 2009. - №3(3). - С. 14-17.

136. Свечников, А.А. Совершенствование системы газоздушного тракта тепловозных дизелей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Свечников Александр Александрович. – Самара, 2014. – 18 с.

137. Седаков, Л.П. Системы технического диагностирования судовых энергетических установок [Текст] / Л.П.Седаков, Ю.Н.Чекалов // Судостроение. – 1977. - №4. - С. 27-31.

138. Семенов А.П. Организация проведения реостатных испытаний при комиссионных проверках с использованием данных бортовых систем локомотивов [Текст] / А.П. Семенов, С.М. Кузнецов // Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава: Материалы третьей всероссийской научно-технической конференции с международным участием в трех частях. Часть 1 / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск: 2015. - С. 107-115.

139. Симсон, А.Э. Испытания тепловозных и судовых дизелей типа Д100 [Текст] / А.Э. Симсон, Н.П. Синенко, Ф.М. Маляров и др. // – М.: Машиностроение, – 1960. – 263 с.

140. Система диагностики двигателей внутреннего сгорания ДП-7. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.trans-service.org>(дата обращения: 27.05.2017).

141. Система диагностирования дизелей СДД (Россия). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://vtsv.16mb.com>(дата обращения: 27.05.2017).

142. Система диагностирования дизель мастер ДМ. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://vtsv.16mb.com>(дата обращения: 27.05.2017).

143. Система для испытаний дизелей и дизель-генераторов «Алмаз». Руководство по эксплуатации: ЕШКД.421430.010РЭ [Текст] / - Ярославль, 2005. – 59 с.

144. Система контроля нагружения судовых дизелей «Ритм–Дизель М». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.fasltd.ru> (дата обращения: 27.05.2017).
145. Система микропроцессорного управления, регулирования и диагностики. Руководство по эксплуатации: 27.Т.339.00.00.00РЭ [Текст] / - Коломна: ВНИКТИ. – 96 с.
146. Система управления и автоматики «Волна-2.02-В1». Руководство по эксплуатации [Текст] / – Тверь: ЗАО «ПФК Тверьпромавтоматика», 2013. – 31 с.
147. Сковородников, Е.И. Диагностирование топливной аппаратуры тепловозных дизелей по анализу движения иглы форсунки [Текст] / Е.И. Сковородников, Л.Ю. Михайлова // Известия Транссиба. – Омск: ОмГУПС, 2013. – № 4 (16) . – С . 35-39 .
148. Сковородников, Е.И. Методы оценки технического состояния, эксплуатационной экономичности и экологической безопасности дизельных локомотивов: монография [Текст] / Е.И. Сковородников, А.В. Чулков, С.М. Овчаренко и др.; под общ.ред. А.И. Володина // – М.: Желдориздат, 2007.– 264 с.
149. Сковородников, Е.И. Моделирование процессов функционирования дизель-генераторной установки тепловоза с целью оптимизации количества параметров контроля [Текст] / Е.И.Сковородников, В.А.Михеев // Транспорт Урала №1 (20) - Екатеринбург: УрГУПС, 2009. - С. 59-62.
150. СТО РЖД 1.05.006-2009. Мониторинг качества потребляемой продукции. Общий порядок проведения [Текст].: Стандарт ОАО «РЖД» / ОАО «РЖД» (введены в действие распоряжением ОАО «РЖД» от 1 июля 2009 года № 1386р) — М.: 2009 — 14 с.
151. Стратегические направления научно-технического развития ОАО «Российские железные дороги» на период до 2015 г. [Текст] / – М.: ОАО «РЖД», 2007. – 54 с.

152. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года (введено в действие распоряжением от 17.06.2008 № 877-р) [Текст] /– М.: – 2008. – 171 с.
153. Тарасов, А.И. Оценка технического состояния двигателей в процессе эксплуатации и ремонта автомобилей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10/ Тарасов Александр Иванович. – Орел, 2013. – 16 с.
154. Таричко, В.И. Методические основы совершенствования технического диагностирования двигателей внутреннего сгорания: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02/ Таричко Вадим Игоревич. – Москва, 2013. – 19 с.
155. Тартаковский, Э.Д. Основы автоматизации технического обслуживания, диагностирования и ремонта локомотивов [Текст]: учеб. пособие / Э.Д. Тартаковский, Э.Н. Подчесов, А.В. Устенко // – Харьков: ХИИТ, 1991. – 95 с.
156. Тартаковский, Э.Д. Совершенствование технологии технического обслуживания тепловозов [Текст] / Э.Д. Тартаковский, Н.Н. Бабанский, А.Б. Бабанин // Электрическая и тепловозная тяга. - 1982. - № 1. - С. 24-26.
157. Тарута, М.В. Совершенствование технологии экологического контроля тепловозных дизелей при проведении реостатных испытаний: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Тарута Мария Викторовна. – Омск, 2009. – 169 с.
158. Терегулов, Т.И. Уточнение модели ДВС с газотурбинным наддувом параметрической идентификацией по характеристике турбины: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / Терегулов Тимур Ирекович. – Нижний Новгород, 2016. – 19 с.
159. Терешина, Н.П., Экономика железнодорожного транспорта: учебник [Текст] / Н.П. Терешина, Б.М. Лapidус, М.Ф. Трихункова // – М.: Транспорт, 2001. – 600 с.
160. Технические средства диагностирования: справочник. -Под ред. В.В. Ключев [Текст] / – М.: Машиностроение, 1989. – 672 с.

161. Титанаков, Д.А. Граф-модель, как метод оценки взаимосвязей системы «дизель-газовоздушный тракт» [Текст] / Д.А. Титанаков // Тезисы докладов XXX межвузовской конференции студентов и аспирантов / Самарская гос. акад. путей сообщения. – Самара: 2003. – С. 87-88.
162. Тихомиров, М.В. Комплекс алгоритмов для управления и диагностики дизеля: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02/ Тихомиров Михаил Витальевич. – Москва, 2015. – 16 с.
163. Топливный участок. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://om-x.ru/category/toplivny-j-uchastok/> (дата обращения: 27.05.2017).
164. Универсальная система автоведения магистральных тепловозов УСАВП-Т. Руководство по эксплуатации: АЮВП.468382.015 РЭ [Текст] / - М.: 2012. – 102 с.
165. Усманов, Ю.А. Развитие сервисного обслуживания и ремонта локомотивов [Текст] / Ю.А. Усманов // Технологическое обеспечение ремонта и повышение динамических качеств железнодорожного подвижного состава: Материалы третьей всероссийской научно-технической конференции с международным участием в трех частях. Часть 1 / Омский гос. ун-т путей сообщения. – Омск: 2015. - С. 96-101.
166. Фомин, Ю.Я. Топливная аппаратура дизелей: справочник [Текст] / Ю.Я. Фомин, Г.В. Никифоров, В.Г. Ивановский // – М.: Машиностроение, 1982. – 168 с.
167. Фуфрянский, Н.А. Развитие локомотивной тяги: под ред. Н.А. Фуфрянского и А.Н. Бевзенко [Текст] / Н.А. Фуфрянский, А.Н. Долганов, А.С. Нестрахов и др. // - 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1988. — 344 с.
168. Хасин, Л.Ф. Экономика, организация и управление локомотивным хозяйством [Текст] / Л.Ф. Хасин, В.Н. Матвеев // – М.: Желдориздат, 2002. – 452 с.

169. Хмельницкий, Ю.Н. Оценка качества функционирования газораспределительного механизма тепловозных двигателей Д49: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Хмельницкий Юрий Николаевич. – Омск, 1995. – 211 с.
170. Хомич, А.З. Диагностика и регулировка тепловозов [Текст] / А.З. Хомич, С.Г. Жалкин, А.Э. Симсон, Э.Д. Тартаковский // - М.: Транспорт, 1977. - 222 с.
171. Четвергов, В.А. Надежность локомотивов: Учебник для вузов ж.-д. трансп.; Под ред. Д-ра техн. наук, проф. В.А. Четвергова [Текст] / В.А. Четвергов, А.Д. Пузанков // - М.: Маршрут, 2003. – 415 с.
172. Четвергов, В.А. О выборе контролируемых параметров для исследования функционирования тепловоза [Текст] / В.А. Четвергов, А.В. Чулков, В.П. Парамзин и др. // Исследование надежности дизельного подвижного состава. Т. 145. — Омск: РИО ОмИИТа, 1973. - С. 4-9.
173. Шанченко, Н.И. Эконометрика: лабораторный практикум [Текст] / Н.И. Шанченко // – Ульяновск: УлГТУ, - 2004. – 79 с.
174. Шмойлов, А.Н. Контроль и диагностирование тепловозного дизеля по параметрам рабочего процесса с использованием газового анализа: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.07 / Шмойлов Андрей Николаевич. – Самара, 2011. – 132 с.
175. Щеголева, Л.Ю. Основы эконометрики. Методические рекомендации к выполнению лабораторных работ [Текст] / Л.Ю. Щеголев // – Петрозаводск: Издательство ПетрГУ, - 2010. – 28 с.
176. Щенников, И.А. Прогнозирование эксплуатационных показателей дизельной энергетической установки судна на этапе проектирования ее элементов: дис. ... канд. техн. наук: 05.08.05 / Щенников Иван Андреевич. – Санкт-Петербург, 2015. – 226 с.
177. Эконометрика: Учебник [Текст] / Под ред. И.И. Елисеевой // – М.: Финансы и статистика, - 2003. - 344 с.

178. Яранцев, М.В. Разработка метода диагностирования плунжерных пар топливного насоса высокого давления среднеоборотного дизеля: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / Яранцев Максим Владимирович. – Хабаровск, 2015. – 18 с.
179. CCM - COMBUSTION MONITORING SYSTEM. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.imes.de>(дата обращения: 27.05.2017).
180. Depas 4.0 Handy. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://depas.od.ua/products.html>(дата обращения: 27.05.2017).
181. DieselEngineAnalysis. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.iconresearch.co.uk>(дата обращения: 27.05.2017).
182. ELPI - Устройство для индицирования. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://akritengineering.com/ru/products.html>(дата обращения: 27.05.2017).
183. Engine Eye - User manual[Текст] / - 2013. - 27 с.
184. Engine room and automation systems (Autronica NK-100, NK-200). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.km.kongsberg.com>(дата обращения: 27.05.2017).
185. fleetECO - Система мониторинга энергетической установки судна. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.fleeteco.com/about.php>(дата обращения: 27.05.2017).
186. KiBox® ToGo. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.kistler.com>(дата обращения: 27.05.2017).
187. KymaDieselAnalyzer (MIP). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.kyma.no>(дата обращения: 27.05.2017).
188. Malin 6000. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.malin.co.uk/malin6000/malin6000.html>(дата обращения: 27.05.2017).

189. Monitoringportfolio. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.chris-marine.com/product-category/monitoring-portfolio/>(дата обращения: 27.05.2017).

190. Offline Cylinder Pressure Monitoring from Kistler to Optimize Operational Reliability. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.kistler.com/ru/en/products/products-by-applications/offline-engine-diagnostics-products/#engine_peak_meter_kit_with_piezotron_sensor_7613_2516_b10(дата обращения: 27.05.2017).

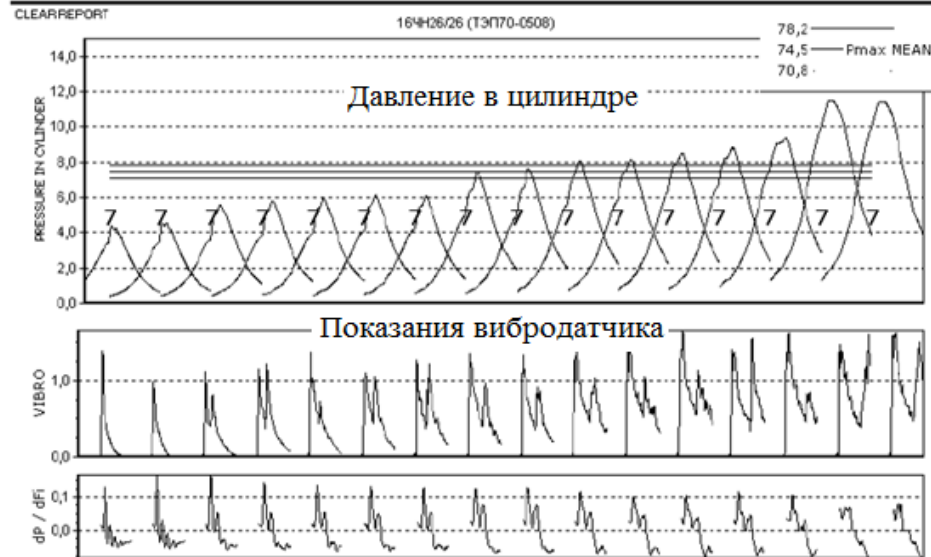
191. PMI System Off-line Pressure Analyser Users Guide. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://marengine.com>(дата обращения: 27.05.2017).

192. ProductsMaritimeDivision. [Электронныйресурс]. Режимдоступа: <http://www.leutert.com/maritime-division/en/products.php>(дата обращения: 27.05.2017).

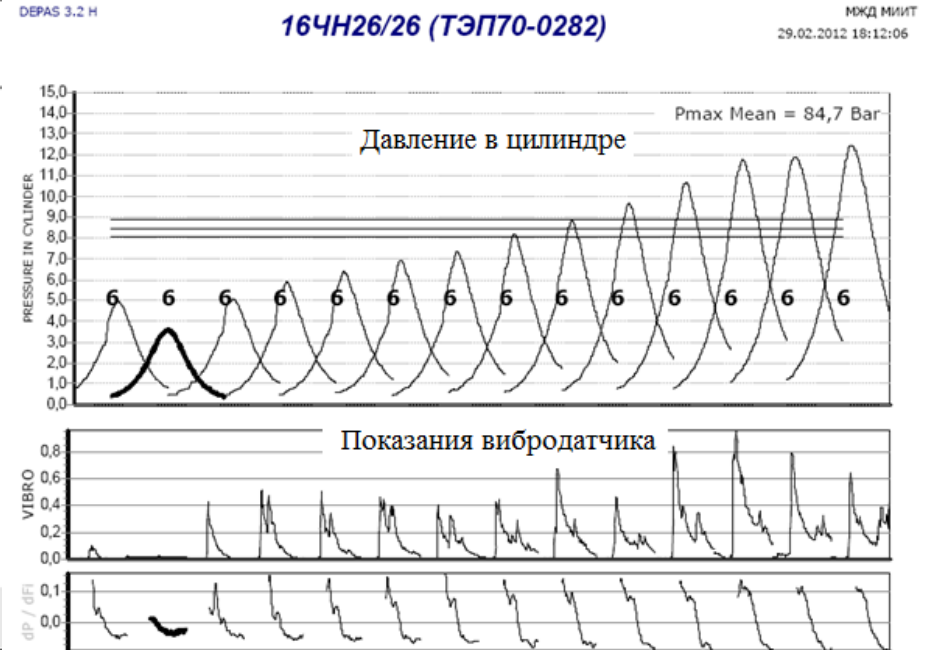
Приложение А

Сводные отчеты результатов измерений основных параметров рабочего процесса системой СМДд

Таблица - Результаты измерений основных параметров рабочего процесса системой СМДд



CYLINDER	rpm	Pmax	Pcomp	MIP	Pi	Pt	Vm	Lmd	Alf inj	Fi inl	Fi exh
7	351	43,7	34,5	2,37	9,6	7,5	1,92	1,27	7°	21,5°	low
7	345	45,5	34,8	2,94	11,7	8,0	1,22	1,31	8,5°	20°	31°
7	494	55,4	35,9	6,52	37,1	10,1	1,84	1,54	9,5°	18°	31°
7	588	58	38,1	7,13	48,3	10,7	1,54	1,52	9°	22°	32°
7	606	58,3	39,7	7,47	52,1	11,2	1,52	1,49	9,5°	22°	35,5°
7	645	61,1	40,8	8,23	61,1	11,8	1,47	1,5	9°	27°	low
7	662	60,7	42,1	7,92	60,3	11,8	1,38	1,44	9,5°	26,5°	low
7	701	74,8	49,8	11,48	92,4	15,0	1,81	1,51	9,5°	20°	31,5°
7	701	76	48,7	12,05	97,2	15,2	1,74	1,58	9,5°	20,5°	32°
7	787	80,5	55,7	12,98	117,7	16,9	1,49	1,45	9,5°	24,5°	34,5°
7	810	81,4	58,4	12,81	119,5	17,6	1,34	1,39	9,5°	23,5°	35,5°
7	853	85	63,4	13,13	128,9	18,5	1,23	1,34	10°	21,5°	35°
7	866	86,4	66,5	13,96	139,2	19,4	1,26	1,33	10,5°	23°	33,5°
7	902	93,5	74,3	15,69	163,0	22,3	1	1,26	9°	22,5°	34,5°
7	977	115	97,9	19,57	220,1	28,6	1,46	1,17	9°	25°	36°
7	983	114	99,0	19,58	221,5	28,8	1,53	1,15	9,5°	23°	37,5°
Mean Parameters:											
	705	74,5	55,0	10,86	98,7	15,8	1,5	1,4	9,3	22,5	33,8

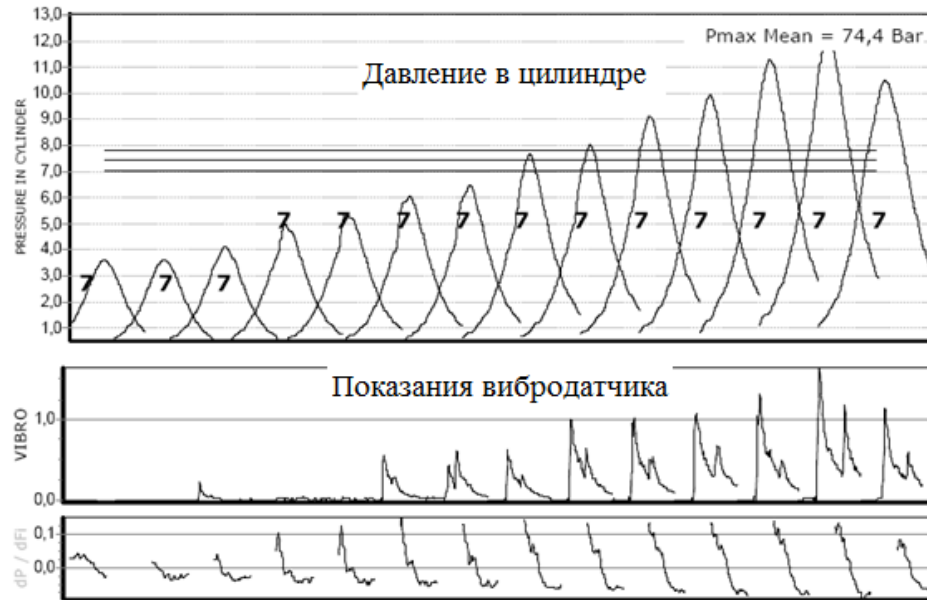


CYLINDER	rpm	Pmax	Pcomp	MIP	Pi	Pt	Vm	Lmd	Alf inj	Fi inl	Fi exh
6	347	49,6	30,3	4,89	19,5	8,4	1,46	1,64	10,5°	28,5°	32°
6	349	---	35,9	0,12	0,5	6,4	---	---	---	24,2°	27,2°
6	563	50,6	31,0	5,51	35,7	9,5	1,19	1,63	10,5°	31°	39,5°
6	598	58,8	37,6	5,68	39,1	10,3	1,51	1,57	13,5°	32°	31°
6	621	63,9	38,9	7,06	50,5	11,8	1,82	1,64	14,5°	28,5°	32,5°
6	659	69,3	39,9	8,37	63,5	12,8	2,1	1,74	14°	29°	24,5°
6	691	73,5	40,4	9,15	72,8	12,8	2,17	1,82	13,5°	34°	32,5°
6	730	82	44,9	10,88	91,5	14,9	2,31	1,83	13,5°	low	33,5°
6	760	88,2	48,2	12,99	113,7	16,2	2,24	1,83	13,5°	32,5°	37°
6	798	96,6	53,6	14,75	135,5	18,2	2,33	1,8	13°	24,5°	39,5°
6	834	107	61,4	17,15	164,7	20,9	2,3	1,74	14,5°	27°	26°
6	872	118	65,8	20,88	209,5	23,2	2,54	1,79	12°	28°	low
6	903	119	86,2	17,12	178,1	25,5	2,24	1,38	12,5°	32,5°	22°
6	941	125	90,7	18,01	195,1	26,5	2,35	1,37	12,5°	25°	34,5°
Mean Parameters:											
	690	84,7	50,3	10,90	97,8	15,5	2,0	1,7	12,9	29,0	31,7

DEPAS 3.2 H

16ЧН26/26 (ТЭП70-0282)

МЖД МИИТ П
01.03.2012 12:32:00

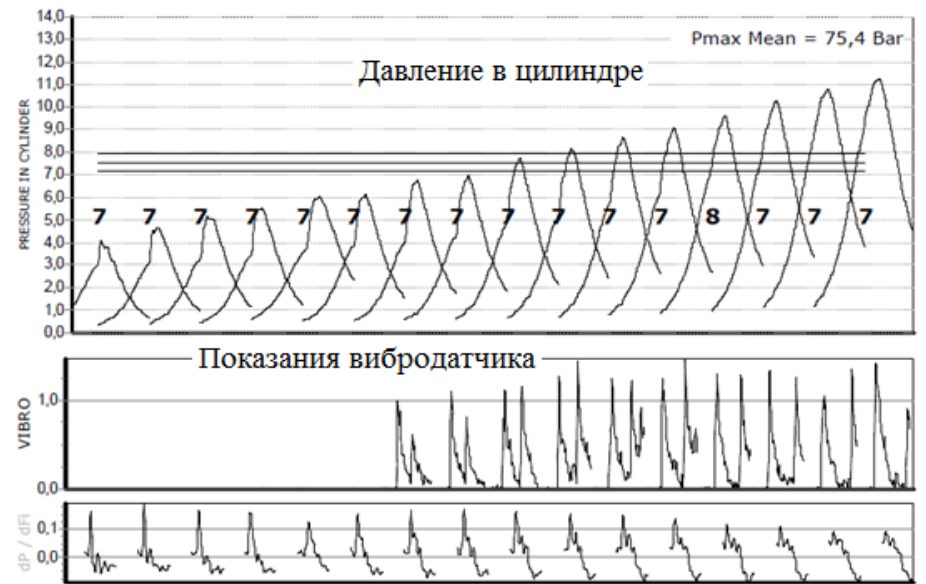


CYLINDER	rpm	Pmax	Pcomp	MIP	Pi	Pt	Vm	Lmd	Alf inj	Fi inl	Fi exh
7	347	8,7	36,6	-0,05	-0,2	6,4	-0,1	0,24	low	27,2°	31,2°
7	350	---	36,0	-0,03	-0,1	6,4	---	---	---	30,9°	27,9°
7	563	41,4	38,7	0,67	4,4	7,5	0,65	1,07	12,5°	28°	23,5°
7	598	49,8	39,4	2,60	17,9	8,9	1,65	1,27	low	95,5°	78,5°
7	621	53,9	39,3	4,32	30,9	10,0	1,72	1,37	low	low	78,5°
7	659	60,5	42,3	5,74	43,5	11,2	1,41	1,43	13°	33,5°	38,5°
7	691	64,7	44,5	6,48	51,5	12,0	1,43	1,45	12,5°	low	30,5°
7	731	76,9	50,1	8,73	73,4	14,5	1,91	1,53	14,5°	29°	31°
7	760	80,4	53,0	9,59	83,9	15,4	1,88	1,51	14°	33°	32°
7	799	91,4	60,4	12,03	110,6	18,1	2,05	1,51	14,5°	low	34,5°
7	834	99,4	67,7	13,11	125,9	20,1	2,01	1,47	14°	31°	38°
7	873	113	75,6	16,84	169,2	23,3	2,26	1,5	13,5°	29,5°	33,5°
7	901	122	88,6	16,39	170,1	25,8	2,31	1,38	15°	31°	28°
7	901	105	90,3	13,03	135,2	23,2	1,44	1,16	10°	29,5°	27,5°
Mean Parameters:											
	688	74,4	54,5	7,82	72,6	14,5	1,6	1,3	13,4	36,2	38,1

DEPAS 3.2 H

16ЧН26/26 (ТЭП70-0400, прав.ряд)

МЖД МИИТ
11.05.2012 12:32:09



CYLINDER	rpm	Pmax	Pcomp	MIP	Pi	Pt	Vm	Lmd	Alf inj	Fi inl	Fi exh
7	363	41	29,7	3,05	12,7	7,3	2,51	1,38	low	low	low
7	362	46,5	29,8	5,75	23,9	8,6	1,51	1,56	low	low	low
7	559	51,4	32,1	7,03	45,2	9,8	1,79	1,6	low	low	low
7	585	55	34,2	7,66	51,6	10,6	1,66	1,61	low	low	low
7	639	60,3	36,3	13,75	101,1	14,0	1,38	1,66	low	low	low
7	658	61,1	37,9	9,61	72,8	12,2	1,61	1,61	low	low	low
7	690	67,6	39,3	11,02	87,6	13,2	1,84	1,72	11°	38°	low
7	715	69,3	42,0	11,60	95,5	14,1	1,76	1,65	11°	36°	39,5°
7	764	77,1	47,6	13,43	118,2	15,9	1,85	1,62	10,5°	low	36,5°
7	794	81,5	49,6	15,04	137,4	17,1	1,64	1,64	8,5°	39°	43°
7	824	86,3	54,6	16,37	155,2	18,4	1,64	1,58	9,5°	61°	41,5°
7	850	90,5	61,2	16,24	159,0	19,8	1,65	1,48	10,5°	32°	39°
7	916	96,4	69,4	17,49	184,4	21,6	1,52	1,39	11°	33,5°	39°
7	940	102	76,2	19,33	209,3	23,8	1,45	1,34	10,5°	31°	41°
7	964	108	82,3	21,53	238,8	25,9	1,32	1,31	10°	43,5°	38,5°
7	991	113	88,5	22,98	262,1	27,7	1,3	1,27	10,5°	35°	40°
Mean Parameters:											
	726	75,4	50,7	13,24	122,2	16,3	1,7	1,5	10,3	38,8	39,8

Продолжение таблицы

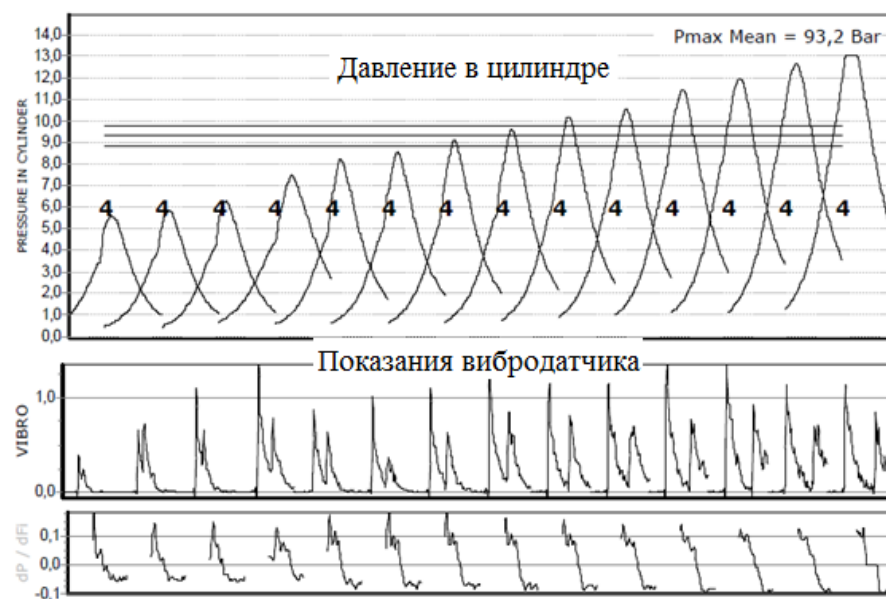
DEPAS 3.2.H

16ЧН26/26 (ТЭП70БС-043, пр.ряд)

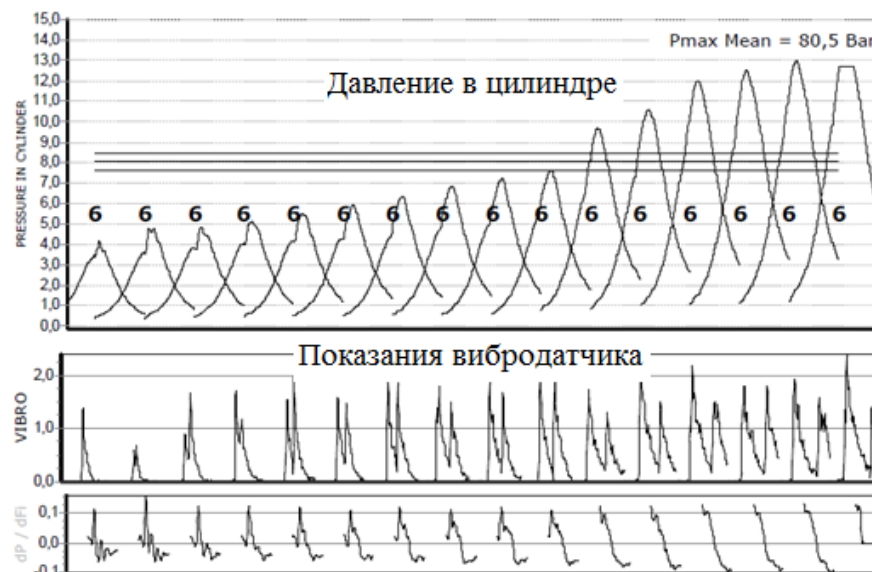
МЖД МИИТ
15.05.2012 12:21:33

DEPAS 3.2.H

16ЧН26/26 (ТЭП70БС-090, пр.ряд)

МЖД МИИТ
11.05.2012 15:50:50

CYLINDER	rpm	Pmax	Pcomp	MIP	Pi	Pt	Vm	Lmd	Alf inj	Fi inl	Fi exh
4	350	56,3	36,3	5,57	22,4	10,0	1,9	1,55	10°	16,5°	low
4	551	58,5	39,9	5,82	36,9	10,7	1,47	1,47	11,5°	17°	28,5°
4	586	62,7	41,3	6,55	44,1	11,1	1,69	1,52	12,5°	16°	26,5°
4	620	74,7	43,6	16,08	114,7	16,4	1,78	1,71	10,5°	low	low
4	654	82,1	47,7	11,09	83,5	15,0	2,34	1,72	11,5°	17°	26°
4	689	85,4	51,8	11,99	95,1	16,0	2,33	1,65	15,5°	18°	29,5°
4	724	91	54,7	12,63	105,2	16,9	2,43	1,66	17°	18,5°	25°
4	757	96	59,2	13,73	119,7	18,2	2,3	1,62	15,5°	15,5°	27,5°
4	792	102	64,6	15,23	138,9	20,0	2,29	1,58	15°	16°	25,5°
4	826	106	71,2	16,14	153,6	21,7	2,14	1,48	14,5°	17°	27°
4	861	115	80,7	17,46	173,0	23,8	2,2	1,42	15,5°	16°	25°
4	896	120	86,7	18,86	194,6	26,1	2,07	1,38	15°	16,5°	25,5°
4	930	127	94,1	20,43	218,7	27,7	2,06	1,35	14,5°	18°	28°
4	965	130	105,0	21,38	237,5	30,0	2,71	1,24	14,5°	16°	28°
Mean Parameters:											
	729	93,2	62,6	13,78	124,1	18,8	2,1	1,5	13,8	16,8	26,8



CYLINDER	rpm	Pmax	Pcomp	MIP	Pi	Pt	Vm	Lmd	Alf inj	Fi inl	Fi exh
6	350	41,9	34,2	2,04	8,2	7,3	1,71	1,22	2,5°	13°	low
6	350	47,6	35,5	4,39	17,7	8,8	1,15	1,34	3°	13,5°	low
6	550	48	38,1	5,08	32,2	9,5	1,44	1,26	5°	14,5°	29°
6	585	51,3	39,7	5,83	39,2	10,2	1,46	1,29	6°	13,5°	27,5°
6	620	55,1	41,2	6,90	49,3	11,0	1,46	1,34	6,5°	15°	27,5°
6	654	59,3	42,6	7,78	58,6	11,9	1,39	1,39	7°	17°	32,5°
6	689	63,6	43,7	8,27	65,6	12,3	1,43	1,46	9°	13,5°	27,5°
6	723	68,8	47,5	8,79	73,1	13,5	1,45	1,45	11°	16°	33,5°
6	757	72,2	50,0	9,97	86,8	14,2	1,46	1,44	9°	16,5°	29°
6	793	76,5	53,3	10,71	97,8	15,2	1,52	1,44	12°	13,5°	31,5°
6	828	96,6	70,2	13,02	124,0	19,6	2,04	1,38	16°	13°	low
6	860	106	77,2	15,60	154,5	22,1	1,97	1,37	13,5°	17,5°	low
6	896	120	86,1	17,83	183,9	25,0	2,28	1,39	14,5°	14,5°	low
6	930	125	91,9	18,79	201,2	26,6	2,42	1,36	15,5°	14,5°	low
6	965	129	96,0	18,79	208,6	27,3	2,37	1,35	14,5°	15,5°	30,5°
6	993	127	105,1	21,26	243,1	30,2	2,77	1,21	16°	15°	30,5°
Mean Parameters:											
	721	80,5	59,5	10,94	102,7	16,5	1,8	1,4	10,1	14,8	29,9

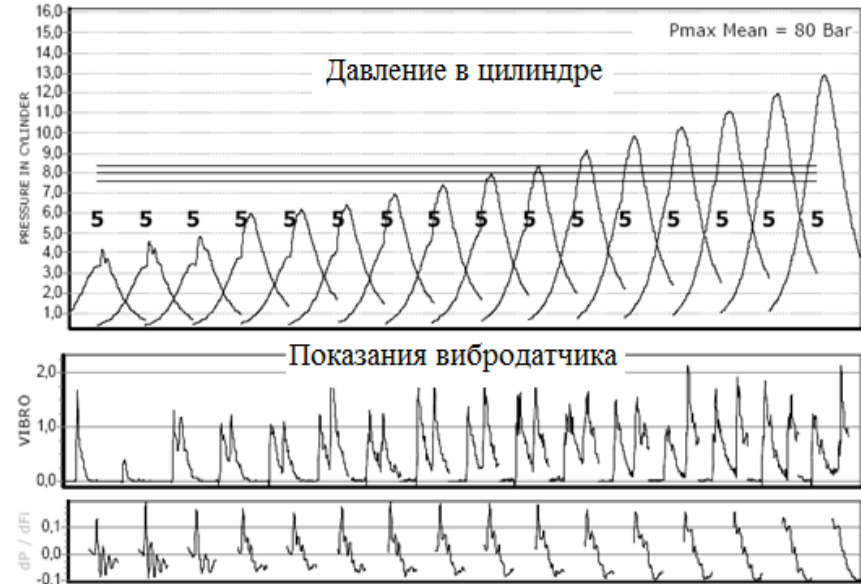
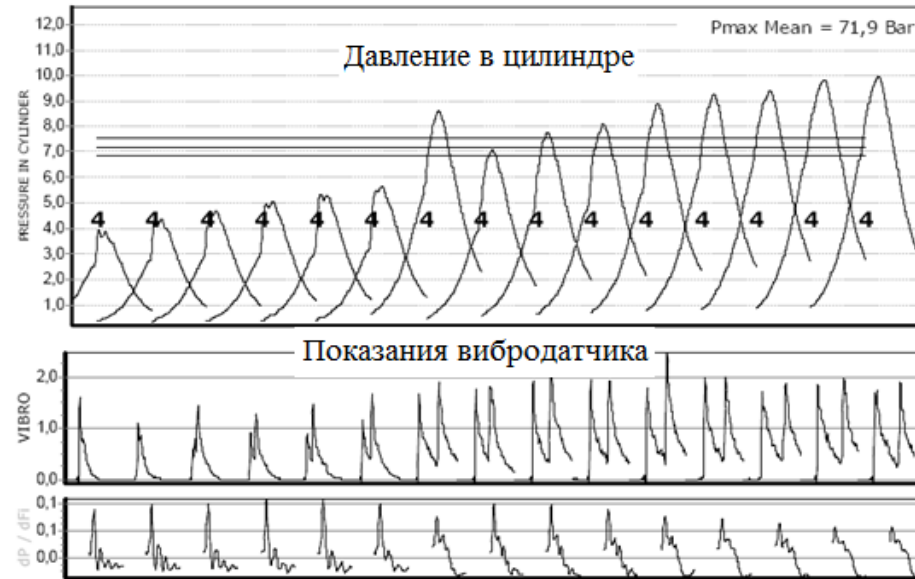
DEPAS 3.2 H

164H26/26 (2ТЭ116-0918Б)

МЖД МИИТ DEPAS 3.2 H
03.05.2013 16:09:40

164H26/26 (ТЭП70-0427)

МЖД МИИТ
03.05.2013 16:27:10



CYLINDER	rpm	Pmax	Pcomp	MIP	Pi	Pt	Vm	Lmd	Alf inj	Fi inl	Fi exh
4	372	39,5	25,8	4,20	18,0	7,1	2,57	1,53	10°	low	33°
4	416	43,8	27,4	5,26	25,2	8,3	1,18	1,6	10°	low	33,5°
4	453	46,9	28,9	5,68	29,6	8,7	2,84	1,62	11,5°	32,5°	31,5°
4	494	50,7	28,7	7,23	41,1	9,6	1,37	1,77	9,5°	33,5°	35°
4	535	53,2	30,3	7,43	45,7	9,9	2,91	1,76	12°	32°	36°
4	580	56,4	31,7	8,49	56,6	10,5	1,63	1,78	13°	31,5°	34°
4	858	86,1	52,8	14,41	142,4	17,5	1,89	1,63	14°	29°	33,5°
4	717	70,8	39,5	11,70	96,6	13,5	1,97	1,79	14,5°	32°	30°
4	770	77,5	45,1	12,87	114,2	15,3	1,98	1,72	14°	27°	32°
4	814	80,8	48,8	13,91	130,3	16,4	1,82	1,65	14°	30,5°	32,5°
4	860	88,8	55,2	14,44	143,0	18,0	1,95	1,61	15,5°	27°	36,5°
4	907	92,6	60,2	15,41	160,9	19,2	1,79	1,54	14,5°	28°	37,5°
4	945	94,2	64,1	16,37	178,2	20,4	1,55	1,47	13,5°	28°	34°
4	990	98,2	70,1	16,53	188,3	21,3	1,47	1,4	15,5°	27,5°	31,5°
4	990	99,2	71,6	16,27	185,5	21,6	1,55	1,39	15,5°	26°	32°
Mean Parameters:											
	713	71,9	45,4	11,35	103,7	14,5	1,9	1,6	13,1	29,6	33,5

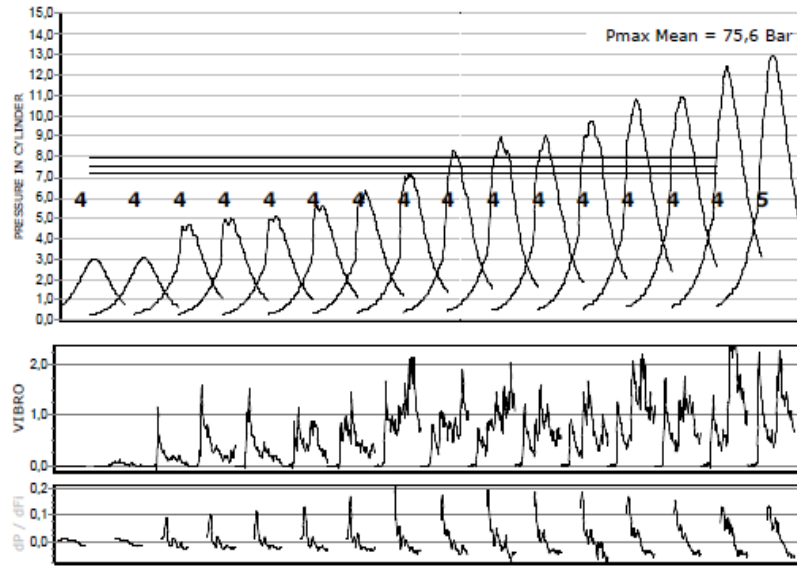
CYLINDER	rpm	Pmax	Pcomp	MIP	Pi	Pt	Vm	Lmd	Alf inj	Fi inl	Fi exh
5	343	42	33,4	2,55	10,1	7,6	1,92	1,25	1,5°	17,5°	22,5°
5	343	45,5	33,3	3,31	13,1	7,8	3,05	1,37	2,5°	15,5°	20,5°
5	569	48,3	34,6	5,17	33,9	8,8	2,35	1,4	3,5°	15,5°	25°
5	605	59,9	37,8	8,58	59,8	11,4	1,71	1,59	6,5°	18°	28,5°
5	620	61,8	38,3	10,88	77,7	12,5	1,57	1,61	6°	7°	65°
5	656	64,1	40,3	9,34	70,5	12,2	1,77	1,59	9,5°	17,5°	24,5°
5	691	69,5	44,0	10,04	79,9	13,3	1,79	1,58	9°	16,5°	27,5°
5	724	73,9	46,1	11,14	92,8	14,2	1,74	1,6	9,3°	20,2°	24,7°
5	752	79,6	50,0	12,09	104,7	15,6	1,95	1,59	9,1°	18,4°	25,4°
5	790	83,4	53,9	12,47	113,4	16,4	1,96	1,55	10,5°	18°	28,5°
5	827	90,9	61,8	13,55	129,1	18,2	1,89	1,47	12°	15°	low
5	865	98,8	68,4	14,57	145,1	20,1	1,93	1,44	12,5°	17°	25°
5	889	103	73,0	15,61	159,8	21,3	2,07	1,41	12°	16°	26,5°
5	928	111	81,4	16,35	174,6	23,4	1,86	1,36	13,5°	18,5°	28,5°
5	968	120	87,8	17,41	194,0	25,0	2,11	1,36	13,5°	16,5°	28,5°
5	1004	129	97,2	18,89	218,2	27,5	2,3	1,33	14°	30°	low
Mean Parameters:											
	723	80,0	55,1	11,37	104,8	16,0	2,0	1,5	9,1	17,3	28,6

Продолжение таблицы

DEPAS 3.2 H

16ЧН26/26 (ТЭП70-0508)

МЖД МИИТ
08.12.2014 15:00:52



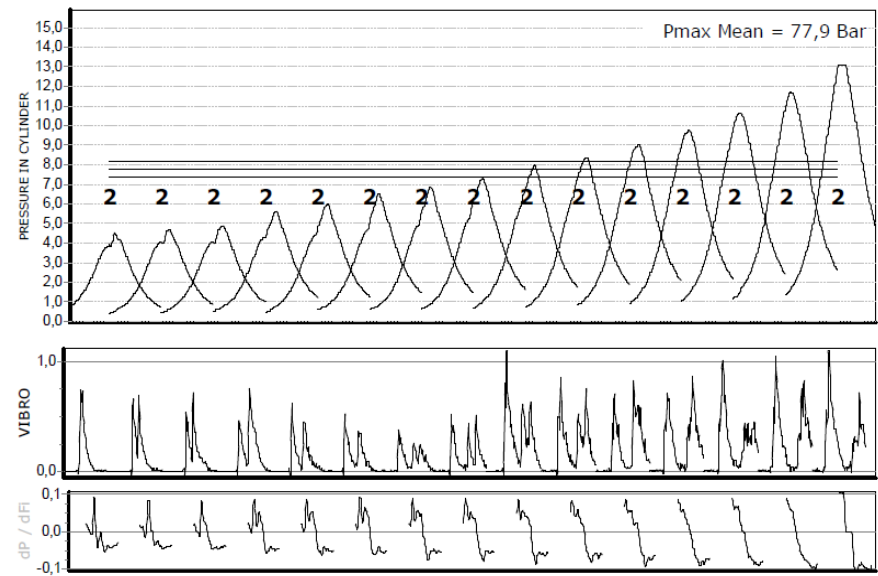
CYLINDER	rpm	Pmax	Pcomp	MIP	Pi	Pt	Vm	Lmd	Alf inj	Fi inl	Fi exh
----------	-----	------	-------	-----	----	----	----	-----	---------	--------	--------

4	349	8,2	24,9	2,25	9,0	5,7	-0,13	0,33	low	18,3°	24,8°
4	349	30,5	19,5	3,94	15,8	5,8	0,58	1,56	10°	10°	30°
4	499	47	22,8	6,94	39,9	8,6	1,21	2,06	10,5°	10,5°	29°
4	588	49,9	25,7	6,41	43,4	8,8	1,43	1,94	17°	16,5°	25°
4	620	51,1	25,8	6,62	47,3	8,8	1,51	1,98	18°	20°	low
4	657	56,2	25,7	8,16	61,8	9,8	1,47	2,18	15,5°	13°	26,5°
4	672	63,3	27,7	8,61	66,6	10,4	1,95	2,28	16°	17,5°	25°
4	709	71,5	30,3	9,88	79,0	12,0	2,62	2,36	20°	19°	26°
4	743	83,3	31,3	11,82	101,2	13,4	3,69	2,66	20°	17,5°	24,5°
4	785	89,5	35,5	12,65	114,4	15,0	3,29	2,52	20°	19,5°	27°
4	808	90	37,3	13,75	127,5	15,5	3,05	2,41	20°	17,5°	25,5°
4	846	97,4	40,3	15,16	147,7	17,1	3,1	2,42	20,5°	17,5°	29°
4	874	108	43,1	18,14	182,5	19,2	3,56	2,51	20°	17,5°	27°
4	918	109	47,2	19,04	201,2	20,2	3,32	2,32	20°	18,5°	25°
4	941	124	49,2	22,41	242,8	22,3	3,88	2,53	20°	19°	35°
5	987	129	52,9	25,04	284,5	24,1	3,74	2,45	18,5°	19,5°	26°
Mean Parameters:											
	709	75,6	33,7	11,91	110,3	13,5	2,4	2,2	17,6	17,0	27,0

DEPAS 3.2 H

16ЧН26/26 (ТЭП70БС-078)

МЖД МИИТ
18.12.2014 19:12:06



CYLINDER	rpm	Pmax	Pcomp	MIP	Pi	Pt	Vm	Lmd	Alf inj	Fi inl	Fi exh
----------	-----	------	-------	-----	----	----	----	-----	---------	--------	--------

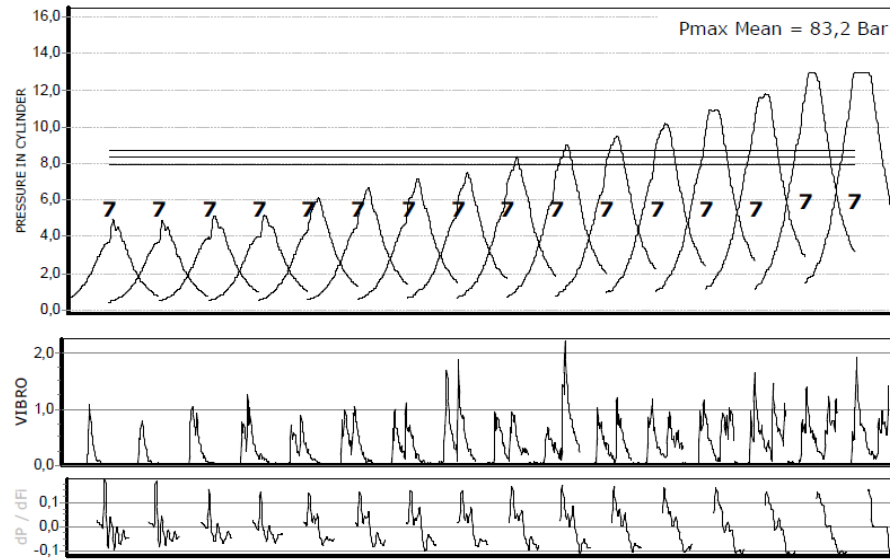
2	350	45	38,9	2,65	10,6	8,6	1,4	1,16	4,7°	15,3°	low
2	549	46,5	39,8	3,95	25,0	9,0	0,89	1,17	5,5°	14°	33°
2	585	49	40,1	4,66	31,3	9,6	1	1,22	5°	16,5°	low
2	616	56,1	42,9	6,56	46,5	11,4	1,06	1,31	8°	21°	30,5°
2	652	60,1	44,5	7,14	53,6	11,7	1,21	1,35	7,5°	16°	33,5°
2	686	65,3	46,9	8,05	63,6	13,1	1,35	1,39	10,5°	14,5°	31,5°
2	721	68,4	50,0	8,36	69,4	13,5	1,37	1,37	10°	17°	33,5°
2	757	72,9	54,4	9,00	78,4	14,5	1,3	1,34	11°	16°	33°
2	794	79,7	61,1	9,43	86,2	15,8	1,32	1,3	12°	12°	30,5°
2	827	83,6	65,7	10,06	95,8	17,0	1,27	1,27	12°	12,5°	29°
2	858	90,4	72,1	10,80	106,7	18,8	1,3	1,25	12,5°	23°	30°
2	893	97,4	80,9	10,70	110,0	20,3	1,41	1,2	14°	19,5°	-9,5°
2	927	106	88,9	11,96	127,7	22,4	1,59	1,2	13,5°	14,5°	low
2	965	117	99,4	12,58	139,8	24,5	1,8	1,18	15,5°	12°	31,5°
2	1000		131	114,2	13,63	156,9	27,9	1,66	1,15	16°	12° -2°
Mean Parameters:											
	745	77,9	62,6	8,63	80,1	15,9	1,3	1,3	10,5	15,7	25,4

Продолжение таблицы

DEPAS 3.2 H

16ЧН26/26 (ТЭП70БС-078)

МЖД МИ
19.11.2014 16:40:4

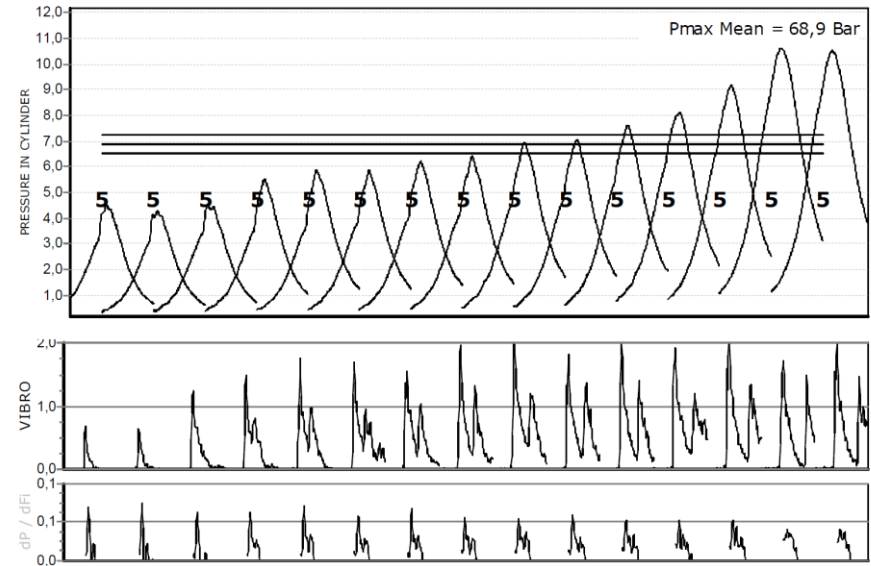


CYLINDER	rpm	Pmax	Pcomp	MIP	Pi	Pt	Vm	Lmd	Alf inj	Fi inl	Fi exh	
7	350	49,2	36,6	3,25	13,1	8,4	3,13	1,34	3,1°	31,4°	33,4°	
7	350	48,7	37,0	3,19	12,8	8,4	3,32	1,32	5°	19°	32,5°	
7	550	50,9	39,1	4,72	29,9	9,6	2,16	1,3	5,5°	20,5°	-10°	
7	584	51,4	39,6	4,95	33,2	9,8	1,98	1,3	5,5°	18,5°	29,5°	
7	618	61,4	42,4	7,24	51,5	11,6	1,41	1,45	8°	24°	33°	
7	652	66,5	44,7	8,18	61,4	12,4	1,57	1,49	8,5°	20°	34°	
7	684	71,4	47,2	9,01	71,0	13,5	1,6	1,51	9,5°	20°	35°	
7	720	74,8	49,8	9,54	79,1	14,6	1,58	1,5	8°	19,5°	low	
7	753	83,2	55,1	11,15	96,7	16,1	1,77	1,51	9,5°	19,5°	30°	
7	790	90,3	61,3	11,91	108,3	17,6	1,78	1,47	11°	21,5°	29,5°	
7	825	95	66,3	13,01	123,5	19,2	1,8	1,43	10°	20,5°	low	
7	859	102	74,1	13,68	135,3	21,0	1,71	1,37	13°	17°	low	
7	893	109	82,1	15,26	157,0	23,2	1,69	1,33	11,5°	25,5°	low	
7	927	118	90,8	16,32	174,1	25,4	1,66	1,3	12°	17,5°	low	
7	965	130	100,9	17,41	193,4	27,6	1,92	1,29	14,5°	19°	35°	
7	1000	130	113,7	18,36	211,4	30,3	3,02	1,14	13,5°	16,5°	28°	
Mean Parameters:		720	83,2	61,3	10,45	97,0	16,8	2,0	1,4	9,3	20,6	28,2

DEPAS 3.2 H

16ЧН26/26 (Коломна-ТЭП70-0509)

МЖД МИИТ
01.07.2010 12:45:24



CYLINDER	rpm	Pmax	Pcomp	MIP	Pi	Pt	Vm	Lmd	Alf inj	Fi inl	Fi exh	
5	369	45,2	31,8	3,43	14,6	7,9	1,41	1,42	10°	18,5°	low	
5	372	42,9	31,8	2,63	11,3	7,5	1,24	1,35	10,5°	17,5°	4,5°	
5	561	45,6	34,3	3,51	22,7	8,2	1,83	1,33	9,5°	18°	29,5°	
5	601	55,2	35,4	6,21	43,0	9,9	1,53	1,56	10,5°	20°	31°	
5	621	58,7	35,9	7,71	55,1	10,8	1,73	1,63	10,5°	22°	33,5°	
5	657	58,6	37,9	7,71	58,3	11,2	1,46	1,55	10°	24°	31°	
5	675	62	39,8	8,58	66,6	11,9	1,56	1,56	11,5°	22°	30°	
5	721	64,1	42,1	8,86	73,5	12,4	1,56	1,52	11,5°	21°	30°	
5	736	69,5	45,2	10,53	89,2	14,0	1,57	1,54	9,5°	21,5°	32°	
5	785	70,4	46,7	10,81	97,7	14,2	1,5	1,51	11°	19°	38°	
5	821	76,2	53,7	11,23	106,0	15,7	1,42	1,42	10,5°	28,5°	38°	
5	851	81,2	61,6	12,16	119,2	17,8	1,22	1,32	11°	21,5°	29,5°	
5	886	91,8	67,3	14,83	151,3	20,0	1,54	1,36	11°	21,5°	28,5°	
5	939	106	85,2	17,50	189,3	24,6	1,51	1,25	11°	21,5°	30°	
5	948	105	86,0	16,35	178,5	24,2	1,41	1,22	10,5°	21,5°	30,5°	
Mean Parameters:		703	68,9	49,0	9,47	85,1	14,0	1,5	1,4	10,6	21,2	29,7

Приложение Б

Диапазоны изменения основных параметров рабочего процесса дизеля на
всех позициях контроллера машиниста

Таблица – Диапазоны изменения основных параметров рабочего процесса по ПКМ дизеля типа 2А-5Д49

ПКМ	n	Pz	Pexp	fi_inj	Pc	ainj	Ni	ZLP	
0	335 - 343	8,2 - 41	10,4 - 14	3,58 - 6	24,9 - 31	1,5 - 6	6 - 9,6	0,72 - 0,79	LOW
	343 - 351	41 - 45	14 - 16,3	6,00 - 15,00	31 - 35	6,00 - 10,00	9,6 - 13	0,79 - 0,85	NORMAL
	351 - 372	45 - 56,3	16,3 - 20,2	15 - 28,5	35 - 38,9	10,00 - 12,00	13 - 22,4	0,85 - 0,97	HIGH
1	343 - 349	30 - 44	10,5 - 17	3,93 - 6,00	19,5 - 33,3	2,00 - 5,00	6 - 11,7	0,73 - 0,84	LOW
	349 - 350	44 - 46,5	17 - 20	6,00 - 15,5	33,3 - 36	5 - 8,5	11,7 - 17,7	0,84 - 0,91	NORMAL
	350 - 417	46,5 - 58,5	20 - 23,2	15,5 - 30,9	36 - 39,9	8,5 - 13,5	17,7 - 36,9	0,91 - 1,07	HIGH
2	453 - 500	41,4 - 48	13,2 - 21,7	6 - 9,5	28,8 - 32,1	0,00 - 5,5	4,4 - 32,9	0,81 - 0,88	LOW
	500 - 563	48 - 50,9	21,7 - 24,1	9,5 - 16,00	32,1 - 38,1	5,5 - 10,5	32,9 - 37,1	0,88 - 0,93	NORMAL
	563 - 586	50,9 - 62,7	24,1 - 26,6	16,00 - 32,5	38,1 - 41,3	10,5 - 12,5	37,1 - 45,2	0,93 - 1,18	HIGH
3	449 - 585	49,8 - 51,3	18,00 - 24,1	11,28 - 12,8	25,7 - 37,6	5,00 - 6,5	17,9 - 39,2	0,88 - 0,96	LOW
	585 - 598	51,3 - 56,1	24,1 - 27,00	12,8 - 18,00	37,6 - 39,6	6,5 - 12,5	39,2 - 48,6	0,96 - 1,01	NORMAL
	598 - 620	56,1 - 74,7	27,00 - 29,7	18,00 - 33,5	39,6 - 43,6	12,5 - 17	48,6 - 114,7	1,01 - 1,21	HIGH

Продолжение таблицы

ПКМ	n	Pz	Pexp	fiinj	Pc	ainj	Ni	ZLP	
4	535 - 618	51,1 - 55,1	22,3 - 27,3	7,00 - 12,63	25,8 - 38,9	6,00 - 9,5	30,9 - 49,3	0,925 - 0,99	LOW
	618 - 621	55,1 - 61,8	27,3 - 28,5	12,63 - 23,9	38,9 - 41,2	9,5 - 12,00	49,3 - 52,1	0,99 - 1,08	NORMAL
	621 - 654	61,8 - 82,1	28,5 - 53	23,9 - 32	41,2 - 47,7	12,00 - 16	52,1 - 101,1	1,08 - 1,23	HIGH
5	580 - 652	56,2 - 60,5	25,7 - 29,6	8,5 - 17,2	25,7 - 39,9	6,5 - 9,00	43,5 - 61,1	0,83 - 0,95	LOW
	652 - 657	60,5 - 66,5	29,6 - 31,7	17,2 - 27,4	39,9 - 42,6	9,00 - 13,00	61,1 - 63,5	0,95 - 1,09	NORMAL
	657 - 689	66,5 - 85,4	31,7 - 38,2	27,4 - 33,5	42,6 - 51,8	13,00 - 15,5	63,5 - 95,1	1,09 - 1,23	HIGH
6	665 - 684	60,7 - 64,7	27,9 - 30,7	13,49 - 19,5	27,7 - 42,1	9,00 - 9,5	51,5 - 65,6	0,87 - 1,00	LOW
	684 - 691	64,7 - 71,4	30,7 - 34,00	16,5 - 29,00	42,1 - 44,5	9,5 - 13,5	65,6 - 79,9	1,00 - 1,09	NORMAL
	691 - 858	71,4 - 91,00	34,00 - 50,8	29,0 - 38,00	44,5 - 54,7	13,5 - 17,00	79,9 - 142,4	1,09 - 1,23	HIGH
7	701 - 715	68,8 - 72,9	32,8 - 35,6	15,5 - 18,87	30,3 - 44,9	8 - 9,5	73,1 - 79,1	0,85 - 0,978	LOW
	715 - 724	72,9 - 74,8	35,6 - 39,6	18,87 - 29,0	44,9 - 49,6	9,5 - 14,5	79,1 - 92,4	0,978 - 1,08	NORMAL
	724 - 757	74,8 - 96,00	39,6 - 43,7	29,0 - 39,7	49,6 - 59,2	14,5 - 20	92,4 - 119,7	1,08 - 1,24	HIGH

Продолжение таблицы

ПКМ	n	Pz	Pexp	fiinj	Pc	ainj	Ni	ZLP	
8	701 - 752	72,2 - 77,1	35,4 - 38,0	16,00 - 19,39	31,3 - 48,2	9,00 - 9,5	83,9 - 97,2	0,89 - 1,01	LOW
	752 - 760	77,1 - 80,4	38,0 - 44,8	19,39 - 27,0	48,2 - 53,0	9,5 - 13,5	97,2 - 113,7	1,01 - 1,065	NORMAL
	760 - 794	80,4 - 102,0	44,8 - 47,2	27,0 - 43,1	53,0 - 64,6	13,5 - 20	113,7 - 138,9	1,065 - 1,24	HIGH
9	785 - 790	76,5 - 81,5	38 - 42,0	13,5 - 20,46	35,5 - 53,3	8 - 9,5	97,8 - 113,4	0,87 - 0,97	LOW
	790 - 794	81,5 - 90,3	42,0 - 46,9	20,46 - 24,5	53,3 - 60,4	9,5 - 12,00	113,4 - 117,2	0,97 - 1,035	NORMAL
	794 - 827	90,3 - 106,0	46,9 - 53,0	24,5 - 39,0	60,4 - 71,2	12,00 - 14,5	117,2 - 153,6	1,035 - 1,24	HIGH
10	806 - 825	81,4 - 88,8	41 - 47,0	13,0 - 21,16	37,3 - 58,4	7,0 - 9,5	119,5 - 123,5	0,92 - 1,02	LOW
	825 - 834	88,8 - 96,6	47,0 - 51,9	21,16 - 27,0	58,4 - 67,7	9,5 - 14,5	123,5 - 143,0	1,02 - 1,12	NORMAL
	834 - 861	96,6 - 115,0	51,9 - 61,6	27,0 - 50,18	67,7 - 80,7	14,5 - 20	143,0 - 173,0	1,12 - 1,24	HIGH
11	846 - 859	85,0 - 92,6	45 - 49,8	16,5 - 21,43	40,3 - 63,4	10,0 - 12,00	128,9 - 135,3	0,94 - 1,00	LOW
	859 - 872	92,6 - 106	49,8 - 57,1	21,43 - 28,0	63,4 - 74,1	12,00 - 13,5	135,3 - 159,0	1,00 - 1,04	NORMAL
	872 - 907	102 - 120,0	57,1 - 55,67	28,0 - 50,8	74,1 - 86,7	13,5 - 20,5	159,0 - 209,5	1,04 - 1,24	HIGH

Продолжение таблицы

ПКМ	n	Pz	Pexp	fiinj	Pc	oinj	Ni	ZLP	
12	866 - 889	84,2 - 96,4	46,9 - 55,4	14,5 - 23,6	43,1 - 69,4	10 - 11,5	139,2 - 159,8	0,94 - 0,953	LOW
	889 - 903	96,4 - 109	55,4 - 61,4	23,6 - 32,8	69,4 - 86,2	11,5 - 14,5	159,8 - 182,5	0,953 - 1,06	NORMAL
	903 - 945	109 - 127,0	61,4 - 69,6	32,8 - 58,72	86,2 - 94,1	14,5 - 20	182,5 - 218,7	1,06 - 1,15	HIGH
13	902 - 928	93,5 - 102,0	53,1 - 62,1	14,5 - 24,8	47,2 - 74,3	9,0 - 12,5	163,0 - 174,6	0,91 - 1,03	LOW
	928 - 941	102 - 118	62,1 - 69,7	24,8 - 27,5	74,3 - 90,8	12,5 - 14,5	174,6 - 201,2	1,03 - 1,08	NORMAL
	941 - 990	118 - 130,0	69,7 - 80,5	27,5 - 50,7	90,8 - 105,0	14,5 - 20	201,2 - 237,5	1,08 - 1,16	HIGH
14	941 - 965	99,2 - 115,0	57,5 - 69,1	15,5 - 27,79	49,2 - 82,3	9,0 - 11,5	185,5 - 208,6	0,96 - 1,01	LOW
	965 - 977	115,0 - 124	69,1 - 74,8	27,79 - 43,2	82,3 - 97,9	11,5 - 14,5	208,6 - 220,1	1,01 - 1,2	NORMAL
	977 - 1000	124 - 131	74,8 - 77,3	43,2 - 59,8	97,9 - 114,2	14,5 - 20	220,1 - 242,8	1,2 - 1,3	HIGH
15	745 - 983	77,9 - 114,0	64 - 76,1	14,0 - 28,86	52,9 - 88,5	1,33 - 9,5	188,89 - 221,5	1,01 - 1,053	LOW
	983 - 993	114,0 - 125	76,1 - 79,4	28,86 - 35,0	88,5 - 105,1	9,5 - 13,5	221,5 - 243,1	1,053 - 1,19	NORMAL
	993 - 1004	125 - 130	79,4 - 82,1	35,0 - 44,5	105,1 - 129	13,5 - 18,5	243,1 - 284,5	1,19 - 1,32	HIGH

Приложение В

Изменение параметров рабочего процесса при неисправностях
основных узлов дизеля

Таблица – Матрица неисправностей узлов дизеля

Неисправность	P_i	P_Z	P_C	P_S	P_{EXP}	ϕP_Z	ϕP_C	ϕ_{INJ}	$\phi\tau_i$	T	α_{INJ}	λ	V_m	ϕP_{EXP}
Увеличенная цикловая подача топлива	+	0+	0+	0+	+	+	0	+	0	+	0	+	+	0
Цикловая подача уменьшена	-	-	0	0	-	-	0	0	0	-	0	-	0	0
Некачественный распыл топлива	-	-	0	-0	-	+	+	0	+	+	0	-	-	0
Ранняя подача топлива	0+	+	0	0	-	-	0+	0	-0	-	+	0	0	0
Угол начала сгорания топлива ранний	0	+	0	0	0	-	-	0	0	0	0	+	-	0
Угол начала сгорания топлива поздний	0	-	0	0	+	+	+	0	0	+	0	-	-	0
Неплотность нагнетательного клапана ТНВД	-0	-	0	-0	+	+	-	0	+	+	-	0	0	0
Зависание иглы в нижнем положении	-	-	0	0	-	0	0	+	0	-	0	0	0	0
Зависание иглы в верхнем положении	0+	-	0	0	+	+	0	0	0	0	0	0	0	0
Износ плунжерной пары ТНВД	0	-	-0	0	+	+	+	0	0	0+	+	0	0	0

Продолжение таблицы

Неисправность	P_i	P_Z	P_C	P_S	P_{EXP}	ϕP_Z	$\phi P_{C'}$	ϕ_{INJ}	$\phi \tau_i$	T	α_{INJ}	λ	V_m	ϕP_{EXP}
Поломка пружины форсунки	0	-	0	0	0	0	+	-	+	0	+	0	0	+
Подтекание иглы форсунки	0	+	0	0	0	0	-	+	+	0	-	0	0	-
Загрязнения отверстий распылителя	0	+	0	0	0	0	-	-	+	0	+	0	0	-
Увеличения отверстий распылителя	0	+	0	0	0	0	-	-	-	0	-	0	0	+
Износ поршневых колец и втулки цилиндра	-	-	-	-	-	0+	-0	0	+	+	0	0	-	0
Нарушение плотности клапанов системы газораспределения	0	-	-	-	-	0	0	0	0	+	0	0	-	0
Позднее закрытие впускного клапана	0	-	-	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Низкое давление наддува	0	-	-	-	-	0	0	0	0	+	0	0	-	0
Загрязнение коллектора воздуха наддува	0	-	-	-	-	0	0	0	0	+	0	0	-	0
Нарушение плотности коллектора наддува	0	-	-	-	-	0	0	0	0	+	0	0	-	0

Приложение Г

Результаты диагностирования дизелей тепловозов в депо ТЧР-21 Елец
системой СМДд

Таблица - Результаты диагностирования дизелей тепловозов в депо ТЧР-21 Елец системой СМДд

Тепловоз	Дата диагностики, Состояние	Обнаруженные дефекты	Возможные причины	Рекомендации по устранению
ТЭП70-0514 Приписка СЛД-34 Елец ЮВЖД	3.05.2015 Диагностика системой СМДд После проведения ТР-1 РИ на ЭДТ	Качество работы форсунок цилиндров 3ПР и 4ПР, оцениваемое по вибродиаграммам впрыска неудовлетворительное (форсунка 3ПР – подвисание иглы в нижнем положении, подвпрыск; форсунка 4ПР – дробный впрыск); Жесткая работа клапанов цилиндра 3ПР; Все цилиндры имеют разрегулировку фаз газораспределения – угла запаздывания закрытия впускных клапанов, угла запаздывания закрытия выпускных клапанов;	Нарушение технологии настройки и регулировки цикловой подачи топливной аппаратуры. Нарушение технологии регулировки ФГР при прохождении ТР. Возможно разрегулировка ФГР при эксплуатации.	Проверить и отрегулировать форсунки цилиндров 3ПР и 4ПР; Увеличить угол запаздывания закрытия впускных клапанов: 1ПР – на 4° п.к.в., 2ПР – на 8° п.к.в., 3ПР – на 12° п.к.в., 4ПР – на 8° п.к.в., 5ПР – на 2° п.к.в., 7ПР – на 8° п.к.в., 8ПР – на 3° п.к.в.; Увеличить угол запаздывания закрытия выпускных клапанов: 1ПР – на 8° п.к.в., 2ПР – на 8° п.к.в., 3ПР – на 4° п.к.в., 4ПР – на 4° п.к.в., 5ПР – на 5° п.к.в., 6ПР – на 2° п.к.в., 7ПР – на 2° п.к.в., 8ПР – на 8° п.к.в..
ТЭП70-0181 Приписка ТЧР-21 Елец ЮВЖД	04.05.2014 Диагностика системой СМДд После проведения ТР-3 РИ на ЭДТ	Согласно полученным индикаторным диаграммам рабочего процесса все цилиндры имеют разрегулировку фаз газораспределения – угла запаздывания закрытия впускных клапанов, угла запаздывания закрытия выпускных клапанов.	Нарушение технологии Регулировки ФГР.	По результатам выявленных замечаний необходимо произвести перерегулировку фаз топливоподачи и газораспределения: - проверить и отрегулировать выход рейки ТНВД (цикловую подачу) цилиндров 1ПР, 7ПР, 3Л, 5Л, 7Л, 8Л.

ТЭП70-0508 Приписка ТЧР-21Елец ЮВЖД	4.05.2014 Диагностика системной СМДд При проведении ремонта по причине смены цилиндрического комплекта цилиндра 1Л из-за течи воды по контрольному отверстию были проведены РИ	При первичной проверке работы ДГУ выявлена жесткая работа 1Л и 8Л цилиндрических комплектов по отсечке подачи топлива ТНВД. Параметры рабочего процесса цилиндров 1Л и 8Л завышены по сравнению с цилиндром 4Л. Согласно полученным индикаторным диаграммам рабочего процесса все проработанные цилиндры имеют разрегулировку фаз газораспределения – угла запаздывания закрытия впускных клапанов, угла запаздывания закрытия выпускных клапанов.	Нарушение технологии Регулировки ФГР.	По результатам выявленных замечаний необходимо произвести перерегулировку фаз топливоподачи и газораспределения: - проверку и регулировку выхода рейки ТНВД (цикловой подачи) цилиндров 1Л и 8Л.
ТЭМ7-0204 Приписка ТЧР-21 Елец ЮВЖД	4.05.2014 Диагностика системной СМДд При проведении планового ремонта в объеме ТР-3	Резкое снижение значений всех основных параметров рабочего процесса цилиндра 1ПР.	Выброс масла 1ПР цилиндрического комплекта и прорыв цилиндрических газов в картер дизеля.	Сменить цилиндрический комплект цилиндра 1ПР.
ТЭП70-0427 Приписка ТЧР-21 Елец ЮВЖД	29.04.2013 Диагностика системной СМДд После проведения планового ремонта в объеме ТР-3	Согласно полученным индикаторным диаграммам рабочего процесса все цилиндры имеют разрегулировку фаз газораспределения-угла запаздывания закрытия впускных клапанов, угла запаздывания закрытия выпускных клапанов.	Нарушение технологии регулировки ФГР при прохождении ТР.	Необходимо произвести перерегулировку фаз газораспределения: -увеличение угла запаздывания закрытия впускных клапанов. -увеличение угла запаздывания закрытия выпускных клапанов.

ТЭП70-0548 Приписка ТЧР-21 Елец ЮВЖД	6.05.2012 Диагностика СМДд РИ на ЭДТ после смены блоков УСТА	Качество работы форсунки цилиндра 4ПР неудовлетворительно. Поздний угол опережения подачи топлива цилиндров 4ПР и 8Л. Раннее закрытие впускных клапанов цилиндров 2ПР, 4-8ПР, 2-8Л, выпускных клапанов всех цилиндров левого и правого рядов.	Закоксованность распылителя форсунки цилиндра 4ПР.	Заменить индикаторные краны цилиндров 1ПР, 1Л и 7Л. Проверка и регулирование форсунки цилиндра 4ПР. Увеличить угол опережения подачи топлива цилиндров 4ПР и 8Л. Проверка и регулировка (увеличение) угла запаздывания закрытия впускных клапанов цилиндров 2ПР, 4-8ПР, 2-8Л и выпускных клапанов всех цилиндров левого и правого рядов.
ТЭП70-0424 Приписка ТЧР-21 Елец ЮВЖД	6.05.2012 Диагностика системой СМДд После проведения планового ремонта в объеме ТР-3	Низкое значение давления сжатия $P_{\text{сжмр}}$ цилиндров 6-8ПР, 6-7Л. Позднее опережение подачи топлива по всем цилиндрам. Отсутствует сгорание в цилиндрах 7Л и 8Л. Увеличенная цикловая подача х.х. цилиндра 7ПР, уменьшенная цикловая подача цилиндра 6ПР. Раннее запаздывание закрытия впускных клапанов цилиндра 5ПР, а также выпускных клапанов цилиндров 6-8ПР.	Малая цикловая подачи ТНВД на режиме х.х..	Проверка и увеличение угла опережения подачи топлива проверенных цилиндров. Проверка и регулировка (увеличение) угла запаздывания закрытия впускных клапанов цилиндра 5ПР, выпускных клапанов цилиндров 6-8ПР. Увеличить цикловую подачу топлива х.х. цилиндров 6ПР, 7Л и 8Л, уменьшить цикловую подачу топлива х.х. цилиндра 7ПР.
ТЭП70БС-043 Приписка ТЧ-11 Са-	5.05.2012 Диагностика систе-	Раннее запаздывание закрытия впускных и выпускных	Нарушение технологии регулировки ФГР.	Для приведения к нормативным показателям тре-

ратов ПРВЖД	мой СМДд После проведения ТР-3 РИ на ЭДТ	клапанов у всех цилиндров ПР. Разность максимальных давлений сгорания P_{max} больше нормативных значений – цилиндры 2ПР, 7ПР и 8ПР.		буется: - проверка и регулировка (увеличение) угла запаздывания закрытия впускных клапанов и выпускных клапанов всех цилиндров; - увеличение цикловой подачи топлива цилиндров 7ПР и 8ПР.
ТЭП70-0400 Приписка ТЧ-19 Котлас СЕВЖД	3.05.2012 Диагностика системной СМДд После проведения ТР-3 РИ на ЭДТ	При работе на режиме холостого хода по всем цилиндрам дизеля наблюдается позднее опережение подачи топлива.	Нарушение технологии регулировки ФГР при прохождении ТР.	Для приведения к нормативным показателям требуется увеличение угла опережения подачи топлива.
ТЭП70-0282 ТЧР-21 Елец ЮВЖД	12.02.2012 Диагностика системной СМДд При проведении технического обслуживания в объеме ТО-5	Резкое увеличение значений среднего индикаторного давления, индикаторной мощности, скорости нарастания давления по углу поворота коленчатого вала и степени повышения давления цилиндра 1Л	Выброс масла 1Л цилиндрического комплекта; Дымный выхлоп из индикаторного крана 1Л цилиндра характерный при горении масла внутри цилиндра	Сменить цилиндрический комплект цилиндра 1Л.
ТЭМ2М-0182 ТЧР-21 Елец ЮВЖД	28.06.2010 Диагностика системной СМДд После проведения на ТР-3	P_{max} ниже номинального цилиндра, подпрыск топлива форсункой 1Л Величина угла опережения подачи топлива занижена, позднее закрытие впускных и раннее закрытие выпускных клапанов цилиндр, под-	Нарушение технологии регулировки ФГР при прохождении ТР.	Произвести ревизию или замену форсунок цилиндров 1, 3, 4ПР. Уменьшить углы запаздывания закрытия впускных клапанов на всех цилиндрах ПР. Увеличить углы запазды-

		<p>впрыск топлива форсункой цилиндра 2Л P_{max} ниже номинального цилиндра, закоксование распылителя форсунки цилиндра 3Л P_{MAX} ниже номинального, позднее закрытие впускных клапанов, цилиндр, подвпрыск топлива форсункой цилиндра 4Л P_{max} ниже номинального, заниженное значение угла опережения подачи топлива, подвпрыск топлива форсунок цилиндр 1ПР Закоксование распылителя форсунки, увеличенное значение угла запаздывания закрытия впускных клапанов, позднее закрытия выпускных клапанов цилиндр 2ПР. Значение P_{max} ниже номинального, позднее запаздывание закрытия впускных и ранее запаздывание закрытия выпускных клапанов</p>		<p>вания закрытия выпускных клапанов на всех цилиндрах ПР. Произвести ревизию или замену форсунок на всех цилиндрах Л. Увеличить угол опережения впрыска на всех цилиндрах Л. Уменьшить углы запаздывания закрытия впускных клапанов на цилиндрах 1, 2, 4Л, а также увеличить закрытия выпускных клапанов цилиндра 3Л.</p>
<p>ЧМЭЗ-5722 Приписка ТЧР-21 Елец ЮВЖД</p>	<p>27.06.2010 Диагностика системой СМДд РИ после смены турбокомпрессора</p>	<p>Увеличенная цикловая подача холостого хода 3 цилиндра. Малая цикловая подача холостого хода 1 и 4 цилиндров.</p>	<p>Нарушение технологии настройки и регулировки цикловой подачи ТНВД. Возможно разрегулировка форсунок при</p>	<p>Уменьшить цикловую подачу х.х. 3 цилиндров. Увеличить цикловую подачу х.х. цилиндров 1 и 4. Произвести ревизию форсунок 1, 2 и 4 цилиндров.</p>




		<p>Неудовлетворительное качество работы форсунок цилиндров 1,2 и 4.</p> <p>Ранний угол опережения подачи топлива 6 цилиндра.</p> <p>заниженные показатели давления сжатия P_{comp} цилиндров 1, 2, 4, 6</p> <p>Разница по P_{MAX} между цилиндрами велика и ниже наименьшего предела.</p> <p>Низкие показатели углов запаздывания закрытия впускных и выпускных клапанов.</p>	<p>эксплуатации.</p> <p>Неправильная регулировка угла опережения подачи топлива цилиндра 6.</p>	<p>Уменьшить угол опережения подачи топлива 6 цилиндра</p>
<p>ТЭП70-0542</p> <p>Приписка</p> <p>ТЧР-21 Елец</p> <p>ЮВЖД</p>	<p>26.06.2010</p> <p>Диагностика системой СМДд</p> <p>При прохождении ТО-3</p> <p>РИ на ЭДТ</p>	<p>Ранний угол опережения подачи топлива цилиндра 2Л.</p> <p>Ранний угол запаздывания закрытия впускных клапанов цилиндров 2-4Л</p> <p>Ранний угол запаздывания закрытия выпускных клапанов цилиндров 2 и 4Л;</p>	<p>Нарушение технологии настройки и регулировки цикловой подачи ТНВД. Нарушение технологии регулировки ФГР при прохождении ТР.</p> <p>Возможно разрегулировка ФГР при эксплуатации.</p>	<p>Уменьшить цикловую подачу номинального режима цилиндров 2-4ПР.</p> <p>Увеличить угол запаздывания закрытия впускных клапанов 3 и 4ПР цилиндров.</p> <p>Проверить и отрегулировать до нормативных значений фазы запаздывания закрытия впускных клапанов нацилиндров 2-4Л, запаздывания закрытия выпускных клапанов цилиндров 2, 4Л</p>
<p>ТЭП70-0481</p> <p>Приписка</p> <p>ТЧР-21 Елец</p> <p>ЮВЖД</p>	<p>25.06.2010</p> <p>Диагностика системой СМДд</p> <p>РИ на ЭДТ после прохождения СР.</p>	<p>Малая цикловая подача х.х. цилиндров 1, 6, 7 и 8ПР.</p> <p>Увеличенное значение P_{MAX} цилиндра 1ПР</p> <p>Заниженное значение</p>	<p>Нарушение технологии настройки и регулировки цикловой подачи режима х.х. при заводском ремонте дизеля.</p>	<p>Увеличить цикловую подачу х.х. цилиндров 1, 6, 7 и 8ПР.</p> <p>Увеличить цикловую подачу х.х. цилиндров 2, 7 и</p>

	Дизель после заводского ремонта в объеме СР.	P_{comp} цилиндра 6ПР Увеличенные значения P_{MAX} и P_{comp} цилиндра 7ПР Малые значения P_{MAX} и P_{comp} , цилиндра 8ПР Низкие значения P_{MAX} и P_{comp} цилиндра 2Л Низкие значения P_{comp} и P_{MAX} , раннее закрытие выпускных клапанов цилиндра 7Л Низкие значения P_{comp} и P_{MAX} , раннее закрытие выпускных клапанов цилиндра 8Л Раннее запаздывание закрытия выпускных клапанов цилиндров 3, 4, 5Л Малая цикловая подача х.х. цилиндров 2, 7 и 8Л.	Возможная закоксованность форсунок цилиндров 1, 6, 7 и 8ПР. Возможная закоксованность форсунок цилиндров 2, 7, 8Л	8Л. Необходимо выполнить ревизию форсунок цилиндров 1, 6, 7, 8ПР. Необходимо выполнить ревизию форсунок цилиндров 2, 7, 8Л
ТЭП70-0511 Приписка ТЧР-21 Елец ЮВЖД	20.05.2010 Диагностика системой СМДд При прохождении ТО-3	Плохое качество работы форсунок цилиндров 3, 5, 6ПР и 6 и 8Л. Разрегулировка ФГР цилиндров 1 и 6ПР, 4 и 7Л. Возможная разбалансировка коромысла впускных клапанов цилиндра 8Л.	Текущий износ пары игла-корпус распылителя Возможно нарушение технологии регулировки ФГР при прохождении ТР.	Произвести ревизию форсунок цилиндров 3, 5, 6ПР и 6 и 8Л. Проверить и отрегулировать ФГР выпускных клапанов цилиндров 1 и 6ПР, 4 и 7Л. Проверить крепление коромысла впускных клапанов цилиндра 8Л.

Приложение Д

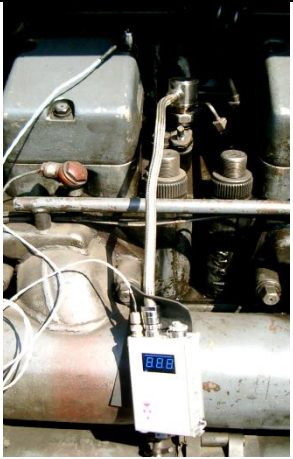

Технологический процесс применения переносного диагностического
комплекса (ПДК)

Таблица Д.1 – Технологическая карта снятия диагностических параметров с помощью системы СМД

№ п/п	Наименование операции	Содержание операции и последовательность выполнения действий	Результаты измерения и диагностики Рекомендации
1	Подготовка места установки датчиков СМДд: -датчика давления PS-20 -вибродатчика VS-20	<p>1.1 Открыть для продувки диагностируемого цилиндра индикаторный кран перед установкой на него датчика давления PS-20</p> <p>1.2. После продувки индикаторный кран закрыть.</p> <p>1.3. Зачистить место установки вибродатчика VS-20 (корпус форсунки, болт крепления стойки коромысел клапанов, болт крепления крышки клапанной коробки, корпус ТНВД в области отсечного окна гильзы плунжерной пары)</p>	
2	Установка датчиков СМДд: -датчика давления PS-20; -вибродатчика VS-20.	<p>2.1. Присоединить к индикаторному крану датчик давления PS-20.</p> <p>2.2. Установить вибродатчик в контрольную точку (КТ):</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="1423 959 1717 1382">  <p style="text-align: center; border: 1px solid red; padding: 2px; width: fit-content; margin: 0 auto;">2.1</p> </div> <div data-bbox="1724 959 2011 1382">  <p style="text-align: center; border: 1px solid red; padding: 2px; width: fit-content; margin: 0 auto;">2.2</p> </div> </div>


Продолжение приложения Д

Продолжение таблицы Д.1

		<ul style="list-style-type: none"> ▪ корпус форсунки ▪ корпус ТНВД в области отсечного окна гильзы плунжерной пары ▪ болт крепления стойки коромысел клапанов, болт крепления крышки клапанной коробки 	<ul style="list-style-type: none"> - действительный угол опережения подачи топлива α_{inj} - геометрический угол опережения подачи топлива α_G - углы запаздывания закрытия впускных и выпускных клапанов (ϕ_{inl} и ϕ_{exh}) 	
3	Снятие диагностических параметров дизеля системой СМДд	<p>3.1. Перед включением СМДд необходимо оторвать индикаторный кран до предела.</p> <p>3.2. Снять прибор (СМДд) с предохранения от включений.</p> <p>3.3. Включить прибор продолжительным нажатием, до появления на его дисплее точки - индикации работы.</p> <p>3.4. После поочередного появления на дисплее прибора: тактности (цифра 2 или 4); n (об/мин) - частоты вращения коленчатого вала; P_t (МПа) - среднего давления газов за рабочий цикл; P_z (bar) - максимального давления газов необходимо продолжительное нажатие кнопки.</p>	<p>Модуль реального времени системы СМДд производит запись и предварительный расчет основных параметров рабочего процесса.</p>	

Продолжение приложения Д Продолжение таблицы Д.1			
		<p>3.5. После того, как на дисплее прибора установится показание номера цилиндра (С №) в зависимости от необходимости установить № цилиндра. Однократным быстрым нажатием увеличение номера; двойным быстрым нажатием уменьшение значения № цилиндра.</p> <p>3.6. После установки № цилиндра на дисплее высвечивается уникальный номер двигателя; необходимо произвести однократное продолжительное нажатие кнопки.</p> <p>3.7. Для снятия показаний со следующего цилиндра повторить пункты операций №1-5.</p>	<p>После нажатия кнопки на модуле реального времени появятся результаты, которые можно сохранить в FLASH память. Без сохранения система делает подряд 4-5 циклов измерений/расчетов и выключается автоматически</p>
5	Демонтаж датчиков системы СМДд после снятия показаний	<p>5.1. Перед снятием датчика давления PS-20 необходимо закрыть индикаторный кран. Отсоединить датчик давления PS-20.</p> <p>5.2. Отсоединить вибродатчик VS-20.</p>	
6	Анализ результатов диагностирования	<p>6.1. Передать полученные данные в расчетный модуль системы СМДд (внешнее ПО, установленное на компьютер).</p> <p>6.2. В расчетном модуле провести полный расчет параметров рабочего процесса каждого продиагностированного цилиндра.</p> <p>6.3. Провести анализ полученных данных. Получить заключение о дальнейшей эксплуатации дизеля и рекомендации по проведению необходимых регулировок. Печать полученных отчетов о диагностировании.</p>	<p>Анализ полученных данных диагностирования проводится на основе личного опыта специалиста-диагноста, а также на основании данных об основных неисправностях базы экспертной системы диагностики на основе нечеткой логики, представленных в приложениях Б (для дизелей типа 2А-5Д49) и В.</p>


Таблица Д.2 – Технологическая карта диагностирования топливной аппаратуры механотестером МТА-2

№ п/п	Наименование операции	Содержание операции и последовательность выполнения действий	Результаты измерения и диагностики Рекомендации
1	Подготовка прибора к работе	<p>1.1. Заполнить ручку механотестера дизельным топливом.</p> <p>1.2. Удалить воздух из подплунжерного пространства и гибкого трубопровода, открутив пробку на корпусе.</p> <p>1.3. Установить заглушку на выходной штуцер механотестера. Заполнить полость нагнетания топливом; закрутить пробку на корпусе; закрыть вентиль дросселя.</p> <p>1.4. Выполнить несколько рабочих перемещений ручки-бачка, доведя давление до 17,0 – 20,0 МПа. Определите время падения давления в интервале 15,0 – 10,0 МПа. Прибор считается готовым к работе, если время падения давления будет более 60 с. Закрутить пробку на ручке-бачке.</p>	
2	<p>Диагностирование топливной аппаратуры:</p> <p>2.1 Диагностирование форсунок</p> <p>Подготовка форсунки</p> <p>Проверка форсунки</p>	<p>2.1.1. Отсоединить топливопровод высокого давления (ТНВД) у форсунки от штуцера топливного насоса (ТНВД) и подсоединить механотестер.</p> <p>2.1.2. Выполнить с помощью рычага привода плунжера несколько плавных качков, обеспечив в полости нагнетания давление 28,0 + 2,0 МПа. Затем быстро, но с применением малых усилий (во избежание падения достигнутого давления и повреждения устройства) переместите рычаг привода плунжера до момента начала нагнетания топлива.</p>	<p>По результатам диагностики определяется:</p> <p>- качество распыла топлива по показателю звучности впрыска (дробящий прерывистый впрыск, пищащий или скрипящий, отсутствие звука при впрыске);</p>

2		<p>На оставшемся пути активного хода плунжера резко переместите рычаг. При этом у исправной форсунки должен прослушиваться четкий прерывистый звук высокого тона. Операцию выполняют 2 раза. Отсутствие такого звука или изменение его характера указывает на плохое качество распыливания топлива, на необходимость последующих углубленных выяснений причины вплоть до замены распылителя или затяжки гайки распылителя после демонтажа форсунки.</p> <p>2.1.3. При определении давления впрыскивания топлива рычаг привода плунжера на активном участке пути перемещайте плавно, фиксируя максимальное отклонение стрелки манометра.</p> <p>В процессе измерения давления впрыскивания, не доводя до его свершения, оценивают гидроплотность распылителя. Вначале предварительно, наблюдая за скоростью падения давления на промежуточных нагнетаниях, а затем инструментально с помощью секундомера измеряют время падения давления в интервале 25,0 – 20,0 МПа, которое должно быть не менее 3 с. Если данный признак совпадает с предварительным (быстрое падение давления), то распылитель подлежит замене. При несовпадении признаков, во избежание ошибки диагноза, выполните 1 – 2 резких впрыскивания топлива и повторите испытания распылителя на гидроплотность.</p> <p>2.1.4. Если распылитель по признакам качества распыливания и гидравлической плотности удовлетворяет нормативным требованиям, а давление впрыскивания не соответствует допускаемым значениям на 0,5 – 0,75 МПа от номинального, отрегулируйте затяжку пружины форсунки, не снимая ее с дизеля.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - давление начала впрыска топлива; - остаточное давление после впрыска топлива; - гидроплотность распылителя.
---	--	--	---

Продолжение приложения Д			
Продолжение таблицы Д.2			
2	<p>2.2 Диагностирование элементов ТНВД: Подготовка ТНВД</p> <p>Проверка гидравлической плотности нагнетательного клапана</p> <p>Проверка гидравлической плотности плунжерной пары ТНВД</p>	<p>2.2.1. Отсоединить топливопровод высокого давления (ТНВД) от штуцера топливного насоса (ТНВД) и подсоединить механотестер.</p> <p>2.2.2.1. Присоединить механотестер к штуцеру ТНВД.</p> <p>2.2.2.2. Сделать несколько плавных качков, обеспечив в полости нагнетания давление 18,0 – 20,0 МПа. Измерьте с помощью секундомера время падения давления топлива в интервале 15,0 – 10,0 МПа. Проверку провести дважды.</p> <p>2.2.3.1. Подготовка ТНВД. Вывернуть штуцер ТНВД. Вытащить клапан из корпуса нагнетательного клапана. Завернуть штуцер ТНВД. Прокручивая коленчатый вал, поставить проверяемую плунжерную пару в положение, соответствующее середине пути нагнетания топлива. Присоединить к штуцеру ТНВД механотестер.</p> <p>2.2.3.2. Выполнить несколько плавных качков, обеспечив давление топлива в надплунжерном пространстве 25,0 МПа. Измерьте с помощью секундомера время падения давления топлива в интервале 20,0 – 15,0 МПа, которое должно быть не менее 15 с. В противном случае необходимо заменить плунжерную пару.</p>	<p>Время падения давления топлива должно быть не менее 10 с. В противном случае необходима замена нагнетательного клапана.</p>

Таблица Д.3 – Технологическая карта диагностирования цилиндропоршневой группы прибором АГЦ-2

№ п/п	Наименование операции	Содержание операции и последовательность выполнения действий	Результаты измерения и диагностики Рекомендации
1	Подготовка места установки АГЦ-2 на цилиндре:	<p>1.1. Открыть для продувки диагностируемого цилиндра индикаторный кран.</p> <p>1.2. После продувки индикаторный кран закрыть.</p>	
2	Проверка показателей полного вакуума P1 и остаточного вакуума P2	<p>2.1. Установить прибор АГЦ-2 на индикаторный кран проверяемого цилиндра дизеля.</p> <p>2.2. Обеспечить проворот коленчатого вала дизеля пусковым устройством (или на холостом ходу).</p>	Измерения P1 и P2 провести дважды.

Продолжение приложения Д

Продолжение таблицы Д.3

		2.3. Измерить по вакуумметрам показатели P1 и P2.	
3	Анализ полученных данных	<p>3.1. Использовать диаграмму расшифровки результатов</p> <p>3.2. По средним значениям P1 и P2, определить техническое состояние проверяемого цилиндра</p>	<p>Значения полного вакуума P1</p> <p>Значения остаточного вакуума P2</p> <p>Номинальное значение износа</p> <p>Текущий износ</p> <p>Критический износ</p> <p>Поломка компрессионных колец, поломка перегородок для поршневых колец в поршне</p> <p>Закосовка колец</p> <p>Нарушение герметичности клапанов, трещина в днище клапана, трещина в днище поршня</p>

Приложение Е

Расчет годового экономического эффекта от применения средств
оперативной диагностики

Исходные данные для расчета годового экономического эффекта от применения средство оперативной диагностики на период опытной эксплуатации разработанной комплексной системы диагностики составляли:

- Среднесуточный пробег (среднесетевой) $L_{\text{СР. СУТ.}} = 800$ км
- Годовой пробег тепловоза $L_{\text{Г}} = 0,292$ млн. км
- Годовой расход топлива тепловозом (депо Елец) $E_{\text{Г}} = 4800000$ кг/г.
- Цена дизельного топлива $C_{\text{ТОП}} = 30$ руб/кг.
- Средний приписной парк депо $n_{\text{ЛД}} = 50-90$ тепловозов (Ртищево, Кочетовка)
- Периодичность ТО и ТР: ТО-3- 14-15 сут., ТР-1-60-64сут.
- Стоимость стационарного комплекса типа КИПАРИС-5 $C_{\text{СИСТ1}} \approx 2000000$ руб.
- Стоимость диагностического оборудования (ПДК) $C_{\text{СИСТ2}} = 550-600$ тыс. руб.
- Срок службы диагностического оборудования $T_{\text{СЛ}} = 10$ лет

Расчет производится для среднесетевых условий локомотивного депо.

Операции по оценке технического состояния топливной аппаратуры, механизма газораспределения и цилиндропоршневой группы тепловозных дизелей с применением разработанного комплекса оперативной диагностики выполняется слесарем по ремонту подвижного состава 5 или 4 разряда. Тарифный коэффициент пятого разряда – 2,12, 4-го – 1,89; тарифная ставка первого разряда – 42,51 руб./час, таким образом, размер тарифной ставки пятого разряда составляет 90,12 руб./час, соотв. для четвертого разряда – 80,34 руб./час.

Стоимость проведения процесса диагностирования:

$$S_{\text{ДИАГ.}} = t_{\text{ДИАГ.}} \cdot n_{\text{Р}} \cdot P_{\text{ТАР1}} \quad (\text{E.1})$$

где $n_{\text{Р}} = 2$ чел. – количество работников, проводящих диагностирование силовой установки;

$t_{\text{ДИАГ.}}$ - время выполнения диагностических операций и анализа информации, ч. (4 ч. для стационарной диагностики, 1,3 ч. для оперативной диагностики)

(анализ проводится вне тепловоза, после проведения диагностики на стационарном рабочем месте)).

Расход топлива на работу тепловоза во время проведения диагностики:

$$E_d = \sum t_{oi} \cdot B_i \quad (E.2)$$

где t_{oi} - время работы дизеля на данной позиции, мин.;

B_i – расход топлива дизелем при работе на данной позиции, кг/ч.

Режим работы дизеля при диагностировании принимаем 7ПКМ с нагружением на тормозные резисторы блока ЭДТ, тогда $B_{7ПКМ} = 160$ кг/ч.

При проведении оперативного диагностирования расход топлива будет определяться по формуле:

$$E_d = (t_{дц} \cdot n_{ц} + t_{пп}) \cdot B_i \quad (E.3)$$

где $t_{дц} = 2,5$ мин – время диагностики одного цилиндра системой СМДд;

$n_{ц} = 16$ – количество цилиндров дизеля (рассмотрен дизель типа 5Д49);

$t_{пп} = 5$ мин – время выхода дизеля на диагностический режим работы (ПКМ).

Снижение расхода топлива за год в эксплуатации на основании диагностических данных:

$$\Delta E = a \cdot E_{г} \quad (E.4)$$

где a – доля снижения годового расхода топлива за счет применения диагностирования (3-4% для стационарной диагностики; 2-3% для оперативной диагностики);

$E_{г} = 4800000$ кг/год – расход топлива за год тепловозом 2ТЭ116.

В общем виде снижение затрат от применения рассматриваемых средств диагностики будет определяться по формуле:

$$\Delta S_{дi} = \Delta S_{г} + \Delta S_{пд} + \Delta S_{нр} - S_{E} - S_{э} \quad (E.5)$$

где $\Delta S_{г}$ – затраты на топливо за год эксплуатации одного локомотива с исправлением нарушений настройки топливной аппаратуры дизеля средствами стационарной диагностики

$$\Delta S_T = \frac{\Delta E}{n_{TOP}} \cdot C_{TOP} \quad (E.6)$$

где n_{TOP} – количество ТО или ТР с применением рассматриваемой диагностики за 1 год.

ΔS_{T1} – затраты на топливо за год эксплуатации одного локомотива с исправлением нарушений настройки топливной аппаратуры дизеля средствами стационарной диагностики (снижение расхода топлива на 3 % в эксплуатации и расход 400 кг во время диагностики);

ΔS_{T2} – затраты на топливо за год эксплуатации одного локомотива с исправлением нарушений настройки топливной аппаратуры дизеля средствами оперативной диагностики (2,5%);

Снижение расхода топлива за год эксплуатации 1-го локомотива с исправлениями нарушений настройки топливной аппаратуры дизеля совместно средствами оперативной и стационарной диагностики по сравнению с только стационарной диагностики составит 0,5% за счет раннего обнаружения.

$\Delta S_{ПД}$ – упущенная выгода от простоя во время проведения диагностических операций.

Упущенная выгода от простоя тепловоза на диагностике:

$$S_{ПД} = t_{ТР} \cdot S_{ПТ} \cdot n_{TOP} \quad (E.7)$$

где $S_{ПТ} = 14500$ руб./ч. – стоимость 1 часа работы магистрального тепловоза (включительно: ≈ 2000 руб./ч. – себестоимость работы тепловоза без учета локомотивной бригады и расхода топлива, обслуживания и ремонта т.е. только амортизация; диспетчерское управление движением и затраты на устранение аварийных ситуаций);

$t_{ТР1} = 4$ ч. – время простоя сверх времени ТО и ТР, отведенное на регламентные работы средствами стационарной диагностики;

$t_{\text{ПР2}}=0$ ч. – время простоя сверх времени ТО и ТР, отведенное на регламентные работы средствами оперативной диагностики (т.е. не выводится из эксплуатации).

Снижение вероятности отказа после диагностики:

$$\Delta\lambda_{\text{д}}=\lambda(t)_{\text{БД}}-\lambda(t)_{\text{д}} \quad (\text{E.8})$$

где $\lambda(t)_{\text{БД}}=20$ - количество отказов в год на 10^6 км пробега без применения диагностики;

$\lambda(t)_{\text{д}}$ - количество отказов в год на 10^6 км пробега с применением диагностики на 10^6 км пробега (12 ед. для стационарной диагностики, 15 ед. для оперативной диагностики).

Сокращение затрат на unplanned ремонт:

$$\Delta S_{\text{НР}}=S_{\text{НР}}\cdot\lambda\Delta_{\text{ТОР}} \quad (\text{E.9})$$

где $S_{\text{НР}}$ – затраты на unplanned ремонт, руб.;

$\lambda\Delta_{\text{ТОР}}$ - сокращение количества случаев unplanned ремонта за период между проведениями диагностирования, определяется из выражения:

$$\lambda_{\Delta_{\text{ТОР}}} = \frac{\Delta\lambda(t)}{n_{\text{ТОР}}} \quad (\text{E.10})$$

$\Delta\lambda(t)$ - сокращение количества случаев unplanned ремонта за год, определяется из выражения:

$$\Delta\lambda(t)=L_{\Gamma}\cdot\Delta\lambda_{\text{д}} \quad (\text{E.11})$$

$L_{\Gamma}=0,292$ млн. км – годовой пробег тепловоза.

Снижение вероятности отказа с применением совместно оперативной и стационарной диагностики по сравнению с вероятностью отказа при применении только стационарной составит:

$$\Delta\lambda_{\text{д}}=2,34-1,46=0,88 \text{ случая в год.}$$

Принимаем $S_{\text{НР}}\approx 30000$ руб. (для ТЭП70БС – 51000 руб., для 2ТЭ116 – 13000 руб. на 1секцию).

Снижение денежных затрат на топливо, при проведении диагностирования рассматриваемыми диагностическими средствами:

$$S_E = E_d \cdot n_{\text{ТОП}} \cdot C_{\text{ТОП}} \quad (\text{E.12})$$

где $C_{\text{ТОП}} = 30$ руб/кг – цена 1 кг дизельного топлива.

Годовые эксплуатационные расходы на поставку переносного диагностического комплекта ПДК будут включать в себя только амортизационные отчисления и налог на имущество организаций, так как для использования прибора не планируется вводить новых штатных рабочих единиц и поэтому дополнительных затрат на заработную плату не потребуется.

$$S_{\text{Э}} = S_A + S_H \quad (\text{E.13})$$

где S_A – годовые амортизационные отчисления по прибору, руб./год;

S_H – годовые затраты, связанные с уплатой налога на имущество организации (учитываются, так как прибор ставится на баланс в депо), руб./год.

Годовые амортизационные отчисления по применению прибора рассчитываются по формуле линейного метода начисления амортизации

$$S_A = \frac{C_{\text{СИСТ}}}{T_{\text{СЛ}}} \quad (\text{E.14})$$

где $C_{\text{СИСТ}}$ – стоимость системы диагностики, принимается равной 600000 руб.;

$T_{\text{СЛ}}$ – срок службы прибора при ресурсе работы 15000 ч, принимается равным 10 годам.

$$S_A = \frac{600000}{10} = 60000 \text{ руб/год}$$

Годовые затраты организации, связанные с уплатой налога на имущество, вычисляются из выражения

$$S_H = c \cdot C_{\text{СИСТ}} \quad (\text{E.15})$$

где c – ставка налога на имущество, принимается равной 2,2 % [101].

Подставив значения в формулу (E.6), получим

$$S_H = \frac{2,2 \cdot 600000}{100} = 13200 \text{ руб./год.}$$

Годовые эксплуатационные расходы по применению ПДК равны:

$$S_{\text{Э}} = 60000 + 13200 = 73200 \text{ руб./год.}$$