

ХАРЬКОВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

На правах рукописи

БУТУРЛИН Петр Яковлевич

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЗАКОКСОВАННОСТИ ОРГАНОВ
ГАЗООБМЕНА НА РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС И ТОКСИЧНОСТЬ
ДВУХТАКТНОГО ФОРСИРОВАННОГО ВЫСОКОБОРОТНОГО
ТРАНСПОРТНОГО ДИЗЕЛЯ

05.04.02 - тепловые двигатели

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Харьков - 1995

621.9

№В 33.067

Диссертация является рукописью

ЛНБ України ім.В.Стефаника

Работа выполнена на кафедре
Востокукраинского



00761263 (P)

Научные руководители - доктор технических наук,
профессор Рыбальченко А.Г.

доктор технических наук,
профессор Станиславский Л.В.

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор Пойда А.Н.

кандидат технических наук,
доцент Теслик А.Г.

Ведущая организация - Юждизельмаш Украины

Защита состоится "12" окт. 1994 г. в 13²⁰ часов в ауд. 313
на заседании специализированного совета K02.15.03 по тепловым
двигателям при Харьковской государственной академии железнодо-
рожного транспорта по адресу:

310050, г. Харьков - 50, площадь Фейербаха, 7.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Харьковской
государственной академии железнодорожного транспорта.

Автореферат разослан "12" сент 1994 г.

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України
Учений секретарь

специализированного совета

Пелепейченко В.И.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ, АКТУАЛЬНОСТИ И СТЕПЕНИ ИССЛЕДОВАННОСТИ ТЕМАТИКИ ДИССЕРТАЦИИ

В связи с уменьшением запасов энергоносителей, перед учеными и конструкторами двигателей внутреннего сгорания (ДВС) на Украине ставятся ответственные задачи по улучшению технических и эксплуатационных характеристик двигателей, с целью повышения топливной экономичности ДВС.

Основные показатели двигателя в значительной мере определяются характеристиками и техническим состоянием его рабочего процесса, связанного с необходимостью значительной интенсификации процесса сжигания топлива в цилиндре и оптимизации условий сгорания при жестких ограничениях максимального давления газов в цилиндре и топлива в системе, температуры деталей и газов перед турбиной. Основными показателями, характеризующими качество процесса газообмена, являются коэффициент наполнения, коэффициент избытка продувочного воздуха, коэффициент остаточных газов, коэффициент продувки, коэффициент утечки продувочного воздуха.

Вследствие недостаточного числа термодинамических взаимосвязей параметров рабочего тела, находящегося в цилиндре двухтактного двигателя в период газообмена, до настоящего времени нет точных аналитических зависимостей для определения этих коэффициентов, поэтому их находят экспериментально.

Наиболее существенным фактором технического состояния двигателя, влияющим на коэффициент наполнения, является закоксовывание органов газообмена (окон) смолистыми веществами и сажей. При закоксованных окнах (твердый нагар может уменьшать их проходное сечение более чем в 2 раза) значительно снижается давление в цилиндре в конце наполнения из-за дросселирования потока воздуха, ухудшается очистка цилиндра, при этом растут температура стенок и количество остаточных газов. Имеется много различных причин, вызывающих загрязнение газораспределительных органов: на-

рушения режимов смазки и охлаждения цилиндров, неудовлетворительная работа маслосъемных и уплотнительных колец, ухудшение распыливания и сгорания топлива. Но одна причина непосредственно связана с организацией процессов газообмена, и в то же время является следствием загрязнений — это заброс газов из цилиндра в ресивер в начальной фазе открытия впускных окон. Заброс газов иногда является результатом недостаточной доводки систем газообмена и наддува. Такой двигатель с самого начала выпуска подвержен сильным загрязнениям газораспределительных органов и трактов. Заброс газов и ухудшение газообмена также происходит при закоксовывании впускных окон, когда их проходное сечение становится недостаточным и свободный выпуск затягивается и переходит на фазу продувки. Помимо влияния на время-сечение фаз газообмена, загрязнение газораспределительных органов вызывает и изменение аэродинамики продувочного потока в цилиндре, ухудшение которой в двигателях с турбонаддувом ничем не компенсируется.

Вопрос технического состояния дизеля требует глубокого изучения и в этом аспекте большого внимания заслуживает изучение состава продуктов сгорания, образующихся в цилиндре двигателя в зависимости от режима его работы, наработки, различных регулировок, изменения условий окружающей среды или конструкции.

До настоящего времени опыт применения метода отбора газа из цилиндра ДВС ограничивался малоборотными двигателями из-за отсутствия быстродействующих устройств для отбора газа. Наиболее широко проявляются возможности данного метода применительно к высокооборотным двухтактным двигателям с высоким форсированием рабочего процесса.

С учетом изложенного в представленной к защите диссертации, разработана методика определения состояния продувочных и впускных окон по дизелю в целом и по отдельным цилиндрам и связанных с ним отклонениям параметров рабочего процесса дизеля по измене-

нию состава газа, отобранного из цилиндров и газоздушных трактов. Предложены методики реализации данных выводов в практику двигателестроения, что при общей характеристике диссертационной работы, позволяет ее квалифицировать как актуальную, направленную на решение научной проблемы, имеющей важное хозяйственное значение.

ЦЕЛЬ И ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Исследование внутрицилиндровых процессов высокооборотного двухтактного форсированного транспортного дизеля методом отбора газа из цилиндров и газоздушных трактов в заданные моменты времени. В результате исследования определить взаимосвязь отклонения параметров рабочего процесса дизеля и степень закоксованности продувочных и выпускных окон дизеля по изменению состава газа, отобранного из цилиндров и газоздушных трактов.

2. Поиск технического решения разработки газоотборного комплекса для отбора газа из цилиндра и газоздушных трактов, с целью исследования внутрицилиндровых процессов форсированного высокооборотного транспортного дизеля, методом отбора газа из цилиндра и газоздушных трактов в заданные моменты времени с минимальным интервалом отбора меньше 1 мс.

ОБОСНОВАНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ И ПРАКТИЧЕСКОЙ ЦЕННОСТИ

ИССЛЕДОВАНИЯ И ЕГО НАУЧНОЙ НОВИЗНЫ

Теоретическая ценность диссертационной работы определяется новыми алгоритмами и методикой расчетно-экспериментального исследования двухтактного высокооборотного форсированного дизеля, научными обобщениями автора, выполненными на базе единого подхода к проблеме исследования рабочего процесса форсированного двухтактного высокооборотного дизеля. При этом практическая ценность диссертационной работы определяется результатами расчетно-экспериментального исследования рабочего процесса форсированного высокооборотного транспортного дизеля 5-ТД методом отбора газа из ци-

цилиндров и газозвоздушных трактов. Разработан комплекс методик и алгоритмы для проведения данного исследования, которые в ходе проведения хозяйственных и госбюджетных НИР переданы к использованию в промышленности и академических институтах. В работе:

1. Показана возможность применения метода отбора газа из цилиндра и газозвоздушных трактов на двигателе 5-ТД и двигателях автомобиля КамАЗ. Результаты экспериментального исследования позволяют изучить динамику образования токсичных компонентов в цилиндре дизеля, установить взаимосвязь между отклонениями информативных параметров и степенью закоксованности продувочных и выпускных окон при которой дальнейшая эксплуатация нецелесообразна.

2. Разработаны технические решения газоотборных средств, позволяющих производить стробоскопический отбор проб газа из цилиндров форсированных высокооборотных двухтактных дизелей в заданные моменты времени в заданных интервалах отбора (заявка 48I6I68/06/OI27753) и из выпускной системы (а.с. 2920509, СССР) в зоне выпускных окон. Предложена конструкция клапана для отбора проб газа большого объема (а.с. II35952, СССР).

3. Разработан алгоритм определения предельных отклонений параметров рабочего процесса дизеля 5-ТД по результатам газового анализа, при которых дальнейшая эксплуатация нецелесообразна.

4. Предложен метод экспериментального определения зависимости параметров рабочего процесса дизеля от состояния органов газораспределения дизеля и отдельных цилиндровых комплектов. Получены экспериментальные данные, раскрывающие особенности изменения состава газа в цилиндрах дизеля и структуру изменения информативных параметров в зависимости от конструктивных факторов дизеля.

5. Отмечено, что практическую ценность имеет:

- газоотборный комплекс для исследования внутрицилиндровых

процессов форсированных быстрооборотных дизелей; комплекс доведен и испытан в процессе исследования дизеля 5-ТД и используется на испытательных стендах ХКБД ПО "Завод им. Малышева".

В процессе исследования рабочего процесса дизеля 5-ТД получены информативные данные, характеризующие изменение параметров рабочего процесса дизеля в зависимости от степени закоксованности продувочных и выпускных окон в общем по дизелю и по отдельным цилиндрам.

По результатам анализа газа из цилиндров, могут быть вычислены:

δ_j - коэффициент избытка воздуха при горении;

δ_j - коэффициент остаточных газов;

ϵ_v - коэффициент наполнения.

В результате анализа данных, полученных при исследовании рабочего процесса дизеля, выделены информативные параметры для оценки технического состояния органов газораспределения:

T_{rj} - относительное изменение температуры газов после турбины

и $q_{нсj}$ - неполнота сгорания топлива в среднем по дизелю;

δ_{y_j} - относительное изменение коэффициента избытка воздуха при горении и m_{coj} - изменение относительной массы оксида углерода

для локализации закоксованности продувочных и выпускных окон по отдельным цилиндрам.

Научную новизну исследования составляют:

1. Экспериментально-теоретическое исследование рабочего процесса форсированного высокооборотного транспортного дизеля 5-ТД методом отбора газов из цилиндров и газоздушных трактов. В результате анализа полученных данных выделены информативные параметры для оценки технического состояния газоздушных трактов по дизелю в целом и отдельным цилиндрам в частности. Определены основные информативные параметры рабочего процесса дизеля, свидетельствующие о предельной закоксованности продувочных и выпускных окон.

2. Техническое решение газотборного комплекса, позволяющего производить стробоскопический отбор проб газа из цилиндров форсированных высокооборотных двухтактных дизелей в заданные моменты времени в заданных интервалах отбора (заявка 4816168/06/0127753) и из выпускной системы (а.с. 2920509, СССР) в зоне выпускных окон. Предложена конструкция клапана для отбора проб газа большого объема (а.с. 1135952, СССР).

3. Разработан алгоритм математической модели предельного отклонения параметров рабочего процесса дизеля 5-ТД, при которых дальнейшая эксплуатация нецелесообразна.

4. Метод экспериментального определения зависимости параметров рабочего процесса дизеля от состояния органов газораспределения дизеля и отдельных цилиндровых комплектов.

УРОВЕНЬ РЕАЛИЗАЦИИ, ВНЕДРЕНИЯ НАУЧНЫХ РАЗРАБОТОК

Диссертация выполнена в соответствии с отраслевым координационным планом НИР и ОКР Министерства тяжелого и транспортного машиностроения СССР по созданию транспортных дизелей. Исследования выполнялись, и взятое направление продолжается, по плану НИР Восточнoукраинского государственного университета в рамках следующих работ:

- Исследование рабочего процесса двигателя. Тема Н-63-85, номер госрегистрации 01850013490.

- Создание системы стендового диагностирования технического состояния цилиндровых комплектов дизеля с применением методов газового анализа. Тема Н-038-89, номер госрегистрации 01890080436.

- Исследование рабочего процесса дизеля и газодизеля методом отбора проб газа из цилиндра. Тема Н-036-89, номер госрегистрации 01890080419.

- Исследование и диагностирование параметров рабочего процесса высокофорсированных быстроходных транспортных дизелей методом отбора газа из цилиндров и газоздушных трактов. Тема

ГН-63-92, номер госрегистрации 01930002461.

Результаты научного исследования переданы в ХКБД ПО "Завод им. Малышева" и используются при доводке новых образцов двигателей для определения параметров рабочего процесса, при которых необходимо проводить техническое обслуживание.

Годовой экономический эффект от внедрения газоотборного комплекса с отечественной аппаратурой непрерывного газового анализа составляет 270 тыс. рублей в ценах 1986 года.

АПРОБАЦИЯ И ПУБЛИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ, СТРУКТУРА И ОБЪЕМ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

Апробация работы. Основные результаты данной работы доложены на всесоюзной научно-технической конференции "Перспективы развития комбинированных двигателей внутреннего сгорания и двигателей новых схем и на новых топливах" (Москва, 23-25 сентября 1987 года, МВТУ им. Баумана); всесоюзной научно-технической конференции "Современный уровень и пути совершенствования экономических и экологических показателей двигателей внутреннего сгорания" (Ворошиловград, ВМСИ, 1983г.); научно-технических конференциях ВМСИ (Ворошиловград, ВМСИ, 1982-1992гг.); научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава и научных сотрудников ВУГУ (Луганск, ВУГУ, 18-20 апреля 1994 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 печатных работ, получено авторское свидетельство СССР и подана заявка на авторское свидетельство.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных литературных источников и приложения. Работа содержит *150* страниц основного текста, *19* таблиц и *35* рисунков.

ЛИЧНЫЙ ВКЛАД В РАЗРАБОТКУ НАУЧНЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ,
ВЫНОСИМЫХ НА ЗАЩИТУ

В ходе выполнения диссертационной работы автором получены

новые теоретические и практические результаты, которые выносятся на защиту. К ним относятся:

1. Методика экспериментального исследования технического состояния газоздушных трактов цилиндрических комплектов форсированного высокооборотного транспортного дизеля посредством анализа газа из цилиндра дизеля, выпускных окон и на выпуске за турбиной.

2. Техническое решение конструкции газоотборного комплекса, позволяющего производить стробоскопический отбор проб газа из цилиндров форсированных высокооборотных двухтактных дизелей в заданные моменты времени в заданных интервалах отбора (заявка 4816168/06/012753); клапан для отбора проб газа большого объема (а.с. 1135952, СССР).

3. Методика расчета конструкции газоотборного клапана, электромагнитного привода клапана и силовой части устройства автоматизированного управления электромагнитным приводом.

4. Алгоритм определения предельных отклонений информативных параметров дизеля, как объекта исследования, в который вошли ряд дополнительных методик, раскрытых в главах диссертации.

ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДОЛОГИИ, МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ

ПРЕДМЕТА И ОБЪЕКТА

Применяемая в диссертационной работе совокупность средств, методов и приемов базируется на принципах системности, которая предусматривает: комплексный подход к разработке системы, оценивающей качество газоздушного тракта; расчетно-экспериментальный метод научного исследования; разработку новых методик, позволяющих в сочетании с известными, рациональным образом обеспечить решение цели и задач диссертации.

При этом новая методика математического моделирования рабочего процесса форсированного высокооборотного дизеля предусматривает применение метода интерполяции полученных информативных па-

раметров с использованием метода наименьших квадратов, идентификацию математических моделей с реальными процессами, зафиксированными экспериментально, обеспечивает выработку практических рекомендаций.

Объектом научного исследования является семейство форсированных двухтактных высокооборотных дизелей со встречнодвижущимися поршнями 5-ТД и 6-ТД.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ, ВЫТЕКАЮЩИЕ ИЗ НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

Текст рукописи диссертационной работы содержит основные результаты диссертационного исследования. При этом во введении обоснована тема диссертационной работы, дана общая ее характеристика, сформулированы цель и задачи исследования, приведены положения, которые выносятся на защиту.

Подчеркнуто, что в основу диссертационной работы положены теоретические труды и прикладные разработки научных школ и коллективов: ХПУ (ХПИ), ХГАЖТ (ХИИТ), УЗПИ, МГТУ, ХКБД ПО "Завод им. Малышева" и др. организации Украины, а также зарубежных стран.

Показано, что диссертационное исследование выполнено применительно к быстроходным дизелям типа 5-ТД и 6-ТД. Отмечено, что диссертационная работа явилась результатом сотрудничества автора с коллективом ХКБД ПО "Завод им. Малышева", ГСКБД, учеными кафедры ДВС ВУГУ.

В первой главе проанализированы методы исследования рабочего процесса двигателей, описанные в отечественной и зарубежной литературе. Проведен обзор различных методик, использующих анализ газа из цилиндров и газовоздушных трактов для исследования рабочего процесса дизелей.

Рассмотрены виды неисправностей и сделан ориентировочный выбор информативных параметров рабочего процесса для исследова-

ния дизеля.

Обширный теоретический и экспериментальный материал по решению вопросов исследования дизелей опубликован в трудах ХПИ, ХИИТа, МВТУ им. Баумана, в работах Глаголева Н.М., Станиславского Л.В., Седакова Л.П., Федорко П.П., Ахмедзянова А.М., Бобкова Ю.А., Мозголевского А.О. Все исследователи создавали устройства пригодные для отбора газа из цилиндров двигателей, имеющих обороты меньше 1500 мин^{-1} . Отсутствуют данные по расчетам конструкции газоотборных клапанов и приводов к ним.

Поэтому для достижения цели данной работы предусмотрено решение следующих задач:

1. Разработать газоотборный комплекс для исследования рабочего процесса форсированного высокооборотного дизеля.
2. Провести экспериментально-теоретическое исследование рабочего процесса форсированного высокооборотного транспортного дизеля. Определить информативные параметры рабочего процесса, оценивающие техническое состояние органов газораспределения цилиндрических комплектов дизеля.
3. Разработать методику определения технического состояния органов газообмена дизеля и цилиндрических комплектов по параметрам анализа газа, отобранного из цилиндра и газоздушных трактов.

Во второй главе описана разработка алгоритма оценки технического состояния продувочных и выпускных окон и алгоритма исследования дизеля, методика определения изменения проходного сечения органов газораспределения дизеля и цилиндрических комплектов.

Для построения математической модели выделены структурные параметры X , под которыми подразумевается техническое состояние отдельных узлов, деталей, агрегатов дизеля, оказывающих влияние на показатели его рабочего процесса и состав газа в цилиндрах и выпускных трактах.

В качестве структурных параметров выбраны:

X_1 - техническое состояние цилиндрико-поршневой группы (цпг);

X_2 - проходное сечение выпускных окон;

X_3 - проходное сечение продувочных окон;

X_4 - техническое состояние нагнетателя;

X_5 - техническое состояние турбины;

X_6 - техническое состояние топливной аппаратуры. Этот параметр необходимо разделить на подпараметры:

X_{6-1} - угол опережения подачи топлива (A);

X_{6-2} - цикловая подача топлива (B);

X_{6-3} - прочие конструктивные и регулировочные параметры узлов и деталей топливной аппаратуры;

X_7 - техническое состояние узлов дизеля, изменение которых оказывает влияние на величину механических потерь.

В качестве информативных параметров выбраны:

1) массовый расход воздуха (G_b);

2) давление газа перед турбиной (P_T);

3) давление воздуха после компрессора (P_K);

4) часовой расход топлива (G_T);

5) удельный эффективный расход топлива (q_e);

6) температура газа перед турбиной (T_T);

7) температура газа на выхлопе ($T_{ог}$);

8) концентрация отдельных компонентов (NO_x , CO , C , H_2 , C_nH_m , CO_2 , O_2) в отработавших газах;

9) относительная неполнота сгорания топлива ($q_{нс}$);

10) концентрация отдельных компонентов в картерных газах;

11) механический КПД или мощность трения.

Задача построения модели сводится к нахождению функциональных зависимостей информативных параметров дизеля от структурных.

В общем виде это уравнение:

$$U = U(x_1, x_2, x_3, \dots, x_j) \quad (1)$$

В каждом конкретном случае зависимости вида (1) необязательно должны содержать все структурные параметры. Получение зависимостей (1) может быть осуществлено путем активного эксперимента.

В данной главе приведен план испытаний дизеля на определенных режимах, составленный на основе метода математического планирования эксперимента.

Для получения зависимостей информативных параметров от проходных сечений выпускных и продувочных окон X_2 и X_3 , провели пассивный эксперимент в ходе ускоренных испытаний (в объеме 5 этапов) по типовой заводской программе, которая предусматривала получение данных о влиянии низкого качества масла на закоксованность выпускных и продувочных окон и влияние изменения фазы открытия и закрытия продувочных окон. При этом приняты допущения, что существенное изменение отдельных структурных параметров (кроме X_2 и X_3) не происходит, вследствие малой продолжительности испытаний по времени. После завершения испытаний производили разборку дизеля и определяли значения структурных параметров X_2 и X_3 для каждого цилиндра.

Математическая обработка данных, полученных в ходе эксперимента, позволила определить искомую зависимость вида:

$$\delta U_Z = a_Z + a_{2Z} X_2 + a_{3Z} X_3 \quad (2)$$

Если принять, что $X_2=1$ и $X_3=1$ при отсутствии закоксованности окон, а $X_2=0$ и $X_3=0$ при полной закоксованности окон, то при $X_2=1$ и $X_3=1$, $\delta U_Z = 0$, т.е. $a_Z = a_{2Z} - a_{3Z}$

$$\delta U_Z = a_{2Z} (X_2 - 1) + a_{3Z} (X_3 - 1) \quad (3)$$

Здесь X_2-1 и X_3-1 - относительное уменьшение проходного сечения выпускных и продувочных окон соответственно.

В ходе эксперимента, при работе дизеля на номинальном режи-

ме в стендовых условиях производился отбор газа из цилиндра и выпускного тракта и замер параметров рабочего процесса: частоты вращения коленчатого вала (n), эффективной мощности (N_e), расхода топлива (G_T), расхода воздуха (G_B), давления наддува (P_K), давления газа после турбины (P_T), температуры газа после турбины (T_r).

Пробы газа из цилиндра отбирались на такте сжатия (интервал открытия газоотборного клапана 250-280 град. п.к.в. после ВМТ) и в конце процесса расширения (интервал 60-90 град.п.к.в. после ВМТ).

Отбор производился ступенчато с шагом 4 град. п.к.в. и продолжительностью отбора газа 20, 24, 32 град. п.к.в., в зависимости от оборотов дизеля (2000 и 2800 об/мин) и необходимой величины пробы газа для анализа.

В качестве информативных параметров рассматривались следующие величины:

1) в целом по дизелю: удельный эффективный расход топлива (q_e); расход воздуха (G_B); коэффициент избытка воздуха, определенный по составу газа, отобранного из выпускной системы (d_y); температура газа после турбины (T_r); давление наддува (P_K); концентрации соответствующих компонентов в "сухих" продуктах сгорания (CO_2 , CO , H_2 , O_2); относительные массы (г/кг топл.) соответствующих компонентов (m_{CO_2} , m_{CO} , m_{H_2} , m_{O_2}); относительная неполнота сгорания топлива без учета сажи ($q_{нс}$).

2) по отдельным цилиндрам: коэффициент избытка воздуха при горении (d_{rj}); коэффициент остаточных газов (λ_j); коэффициент наполнения (η_{vj}); концентрации соответствующих компонентов (CO_{2j} , CO_j , H_{2j} , O_{2j} , CH_{4j}); относительные массы компонентов в пробе, отобранной из цилиндра в конце расширения ($m_{CO_{2j}}$, m_{CO_j} , $m_{H_{2j}}$, $m_{O_{2j}}$, $m_{CH_{4j}}$); относительная неполнота сгорания топлива, без учета сажи, к концу расширения ($q_{нс}$).

Перед началом испытаний определяли производительность топ-

ливных насосов совместно с форсунками. После завершения эксперимента измеряли долю закоксованности продувочных и выпускных окон в каждом цилиндре. Результаты выполненных измерений представлены в виде таблиц.

На рис.1 и рис.2 показано относительное изменение показателей дизеля от этапа наработки. На основании данных экспериментальных зависимостей принято допущение, что изменение проходных сечений продувочных и выпускных окон происходит линейно и вычислены степени закоксованности окон в цилиндрах после отработки третьего этапа.

Вследствие того, что для различных дизелей и различных условий эксплуатации степень закоксованности газораспределительных органов во времени будет различна, а, следовательно, наклон прямой, характеризующей изменение параметра, будет тоже различным, то для математической модели находили зависимости исследуемых параметров от степени закоксованности продувочных и выпускных окон в ходе математической обработки экспериментальных данных. В процессе обработки экспериментальных данных определяли коэффициенты аппроксимирующих уравнений виде:

$$\delta y = a_{01} \delta f_{\text{прод}} + a_{02} \delta f_{\text{вып}} + a_{12} \delta f_{\text{прод}} \cdot f_{\text{вып}} \quad (4)$$

где δy - относительное изменение исследуемого параметра;

$\delta f_{\text{прод}}$ - уменьшение сечения продувочных окон (%) вследствие закоксованности;

$\delta f_{\text{вып}}$ - уменьшение сечения выпускных окон (%).

Для относительного изменения параметров рабочего процесса по цилиндрам были получены зависимости, представленные в порядке ухудшения адекватности, например:

$$\delta \eta_v = 0,00107 \delta f_{\text{прод}} - 0,01033 \delta f_{\text{вып}} + 0,000411 \delta f_{\text{вып}} \delta f_{\text{прод}} \quad (5)$$

$$\delta \alpha_r = -0,00042 \delta f_{\text{прод}} - 0,01033 \delta f_{\text{вып}} + 0,000411 \delta f_{\text{прод}} \delta f_{\text{вып}} \quad (6)$$

Аналогичные уравнения были получены и для параметров, характеризующих работу дизеля в целом. Математической обработке были подвержены и результаты испытаний, проведенных ранее. Данные двух испытаний хорошо согласуются.

С помощью функциональных зависимостей данного вида определяли состояние продувочных и выпускных окон. В общем виде, для решения поставленной задачи, достаточно двух уравнений:

$$\delta Q = A_{01} \delta f_{прод} + A_{02} \delta f_{вып} + A_{12} \delta f_{прод} \cdot \delta f_{вып} \quad (7)$$

$$\delta U = B_{01} \delta f_{прод} + B_{02} \delta f_{вып} + B_{12} \delta f_{прод} \cdot \delta f_{вып}$$

Если известны относительные изменения параметров рабочего процесса дизеля Q и U , то решив систему уравнений (), можно определить изменение сечения продувочных и выпускных окон.

$$\delta f_{вып} = \frac{\delta Q - A_{01} \delta f_{прод}}{A_{02} + A_{12} \delta f_{прод}} \quad (8)$$

Для получения достоверных результатов, из уравнений выбирают две, которые дают сходимость результатов расчета с опытными данными, это уравнения, у которых коэффициенты при одноименных членах существенно различны (наряду с хорошей адекватностью).

Анализ показал, что в качестве информативных параметров при оценке закоксованности органов газораспределения дизеля в целом, следует брать относительные изменения температуры газов после турбины T_r и относительную массу оксида углерода в отработавших газах m_{CO} , а для отдельных цилиндров - относительные изменения коэффициента избытка воздуха $\lambda_{гв}$ при горении и относительную массу оксида углерода m_{CO} .

Далее в главе описаны:

- метод исследования рабочего процесса дизеля;

- алгоритм и математическая модель дизеля, как объекта ис-

следования и ряд вспомогательных методик: ДНБ ім. В. Стефаника
АН України

дизеля в исходном состоянии к часовому расходу топлива и условиям окружающей среды; корректировки результатов газового анализа; расчета информативных параметров по результатам газового анализа; определения параметров, характеризующих неравномерность рабочего процесса в отдельных цилиндрах.

Для приведения параметров рабочего процесса к нормальным атмосферным условиям, кроме определенных выше, необходимы зависимости получили путем дополнительных испытаний дизеля (на номинальном режиме), в ходе которых изменяли разрежение на всасывании, температуру воздуха на входе в дизель, часовой расход топлива. По результатам испытаний получили аппроксимирующие зависимости вида:

$$\delta \Pi = a_n \delta H_{вс} + a_T \delta G_T + a_0 \delta T_0 \quad (9)$$

где $\delta \Pi$ - относительное изменение информативного параметра;
 $\delta H_{вс}, \delta G_T, \delta T_0$ - относительное изменение разрежения на всасывании, часовой расход топлива и абсолютная температура воздуха на входе.

Расчеты показывают, что на достоверность экспериментальных данных влияют случайные погрешности газового анализа, поэтому для корректировки результатов анализа газа из цилиндра дизеля, разработали методику, которая позволяет осуществлять корректировку по всем основным компонентам.

В этой же главе дана блок-схема программы обработки экспериментальных данных и исследования цилиндровых комплектов с подпрограммой для корректировки и обработки результатов газового анализа.

Третья глава посвящена математическому расчету конструкции газоотборного клапана и объему пробы, отбираемой из цилиндра двигателя, выбору конструкции газоотборного клапана, расчету электромагнитного привода газоотборного клапана и электрической схемы силовой части устройства управления, техническому решению га-

зоотборного комплекса.

Отбор проб газа из цилиндра производили газоотборным клапаном стробоскопического действия с двойным электромагнитным приводом, открывающимся в цилиндре дизеля при противодавлении 12 МПа. Минимальный интервал времени работы клапана $\tau = 0,56 \cdot 10^{-3}$ с.

Отбор газа из выпускных окон в период свободного выпуска производили с помощью системы лепестковых клапанов (а.с. 2920509, СССР).

Хорошая сходимость значений α в зоне камеры сгорания и выпускных окон свидетельствует о том, что отбираемые пробы газа в процессе расширения после 60° п.к.в. за ВМТ соответствуют среднему составу газа по объему цилиндра, что показано на рис. 3. Анализ газа из цилиндра был проведен аппаратурой непрерывного газового анализа отечественного производства.

В четвертой главе описаны результаты экспериментальных исследований.

Построены графики, выражающие результаты анализа проб газа, отобранных из цилиндра дизеля 5-ТД и выпускных окон и график изменения коэффициента тепловыделения. Причем результаты анализа газа, отобранного в момент открытия выпускных окон, являются как бы продолжением процесса, происходящего в цилиндре (рис. 3).

Пятая глава охватывает проблему определения точности исследования дизеля, выбору аппаратуры информационно-измерительной системы. В работе выполнен анализ определения предельной погрешности вычисления информативных параметров.

Приведенная методика позволяет определить возможность реализации разработанного алгоритма и перспективные решения для уменьшения погрешностей исследования.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

I. На основании расчетно-экспериментального исследования установлено, что применение газоотборного комплекса позволило осу-

ществить отбор проб газа из отдельных цилиндров дизеля, получить показатели, характеризующие рабочий процесс в цилиндрах и определить техническое состояние цилиндровых комплектов дизеля.

2. Найдено техническое решение газоотборного комплекса для исследования внутрицилиндровых процессов форсированных высокооборотных дизелей. Экспериментально подтверждена возможность его применения для дизелей с частотой вращения коленчатого вала более 3000 мин⁻¹ и высоким максимальным давлением в цилиндре (до 14,5 МПа).

3. Разработана математическая модель расчета электромагнитного привода газоотборного клапана и устройства автоматизированного управления электромагнитным приводом клапана. Получены экспериментальные данные, раскрывающие особенности изменения состава газа в цилиндрах дизеля 5-ТД и определена структура изменения информативных параметров в зависимости от закоксованности продувочных и выпускных окон.

4. Предложен алгоритм оценки состояния рабочего процесса дизеля и математическая модель, в которую вошли: методика расчета информативных и структурных параметров по результатам газового анализа; методика определения влияния закоксованности выпускных и продувочных окон цилиндров дизеля на информативные параметры рабочего процесса; методике приведения информативных параметров рабочего процесса дизеля к заданным условиям; методика определения параметров, характеризующих неравномерность рабочего процесса в отдельных цилиндрах.

5. В работе представлена методика расчета предельных погрешностей определения параметров рабочего процесса и показателей газового анализа.

6. Разработана структурная схема математической модели исследования дизеля, позволяющая производить соответствующие расчеты с помощью ЭВМ.

7. Новые технические решения, полученные при разработке га-

зоотборного комплекса, могут быть использованы для исследования рабочего процесса форсированных высокооборотных дизелей методом газового анализа, а методики обработки экспериментальных данных могут быть применены для дизелей любого назначения.

8. Результатами исследования и методиками обработки результатов газового анализа, в настоящее время, пользуются в ХКБД ПО "Завод им.Малышева" и НТЦ АО "КамАЗ" при разработке новых типов дизелей.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Станиславский Л.В., Улановский Э.А., Дзецина О.П., Радионов А.С., Алексеев В.Г., Бутурлин П.Я. Обработка индикаторных диаграмм с учетом состава газов в цилиндре. 6 (164), 1985, - 154 с. - Деп. в ВИНТИ № 1431 тм - 85 Деп.

2. Бутурлин П.Я., Заиграев Л.С., Тырловой С.И. Способ обработки тахограмм двойного выбега при определении механических потерь дизеля. / ЛМСИ. - Луганск, 1989., - 20 с. - Деп. в УкрНИНТИ 14.09.89, № 2006 - Ук 89.

3. Бутурлин П.Я., Бычков В.З., Фурса В.В., Щербаненко Г.В. Газоотборный комплекс для исследования внутрицилиндровых процессов. - М: ЦНИИТЭИТЯЖМАШ, ДВС, 1991, № 4 (184), с. 25-56.

4. Бутурлин П.Я., Рыбальченко А.Г. Газоотборный комплекс для диагностирования внутрицилиндровых процессов дизелей / ЛМСИ. - Луганск, 1991. - 14 с. - Деп. в УкрНИНТИ 17.10.91, № 1682-Ук 92.

5. Бутурлин П.Я., Рыбальченко А.Г., Заиграев Л.С. Исследование рабочего процесса высокофорсированного многооборотного двухтактного транспортного дизеля методом газового анализа / ЛМСИ. - Луганск, 1991. - 18 с. - Деп. в ГНТБ Украины 26.07.93г.

Относительное изменение параметров дизеля

$\delta n_2, \delta CO, \delta q_{н.с.}, \delta CO_2, \delta O_2$

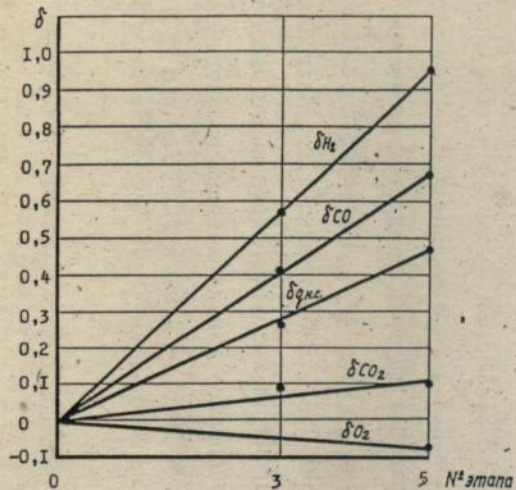


Рис. 1

• - опытные точки;
— по аппроксимирующим уравнениям.

Относительное изменение параметров дизеля
 $\delta t_{н_2}, \delta t_{CO}, \delta t_{CO_2}, \delta \alpha_T, \delta T_T, \delta B_B, \delta q_e, \delta P_K$

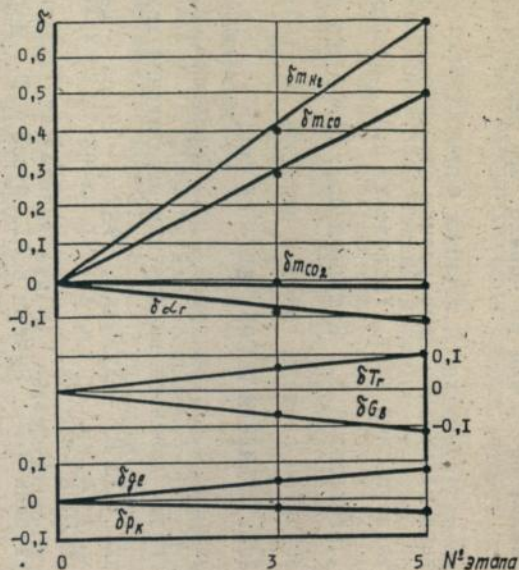


Рис. 2

• - опытные точки;
— по аппроксимирующим уравнениям.

Результаты анализа проб газа из цилиндра дизеля
выпускных окон

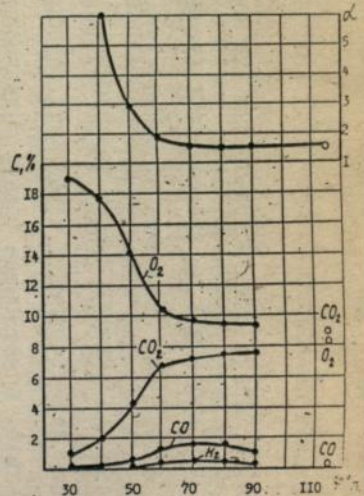


Рис. 3

$n = 2800$ об/мин; $Ne = 1$.
○ - отбор из выпускных окон.

Buturlin P.J. The analysis of gas exchange devices influence to the working process and toxicity of the multirevolution highboost two stroke transport Diesel engine.

The dissertation for presenting candidate's degree technical sciences on speciality 05.04.02, heat engines, Kharkov State Academy of Railway Transport, Kharkov, 1994.

In the thesis are represented the methods and the results of researches of multirevolution highboost two stroke Diesel engine stated in 9 research works and in one authors certificate. The offered gas exchange complex allows to define the level of the exhaust and scavenging parts gumming - up by of gas composition from the cylinder and air gas parts which will allowed to increase Diesel service life. The results of this investigation are implemented in the technical project speed ICE, in the practice of research and experiment design works.

Бутурлин П.Я. Анализ влияния закоксованности органов газообмена на рабочий процесс и токсичность форсированного двухтактного высокооборотного транспортного дизеля.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.04.02 - Тепловые двигатели, Харьковская госуд. академия жел.-дор. трансп., Харьков, 1994.

На защиту вынесены методики и результаты исследования форсированного двухтактного высокооборотного транспортного дизеля изложенные в 9 научных и одном авторском свидетельстве. Предлагаемый газоотборный комплекс позволяет определить уровень закоксованности выпускных и продувочных окон по составу газа из цилиндра и газоздушных трактов, что позволит увеличить моторесурс дизеля. Результаты исследования внедрены в техническом проекте форсированных высокооборотных ДВС, практике НИР и ОКР.

Ключові слова: двотактний ДВС, газовідборний комплекс.

1104880

АВ 33.064

А В Т О Р Е С Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЗАКОКСОВАННОСТИ ОРГАНОВ
ГАЗООБМЕНА НА РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС И ТОКСИЧНОСТЬ
ДВУХТАКТНОГО ФОРСИРОВАННОГО ВЫСОКОБОРОТНОГО
ТРАНСПОРТНОГО ДИЗЕЛЯ

БУТУРЛИН Петр Яковлевич

Ответственный за выпуск
д.т.н., доц. Осенин Ю.И.

Подписано к печати

Формат бумаги 60x84 I/I6. Бумага для множительных аппаратов.

Усл. - печ. лист - 2.0, уч.-изд. лист 2.25.

Заказ Тираж 100 экз.

Ротапринт ВУГУ, 348034, г.Луганск, кв.Молодежный, 20а