

УДК 621.436

МАРЧУК
Алексей Николаевич

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТОПЛИВОПОДАЧИ
В АККУМУЛЯТОРНЫХ ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМАХ
ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПУСКОВЫХ КАЧЕСТВ ДИЗЕЛЕЙ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.04.02 «Тепловые двигатели»

Минск, 2011

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете

Научный руководитель

Кухарёнок Георгий Михайлович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Двигатели внутреннего сгорания» Белорусского национального технического университета

Официальные оппоненты:

Курташевич Анатолий Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Тракторы и автомобили» Белорусской государственной сельскохозяйственной академии;

Тарасенко Виктор Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Тракторы и автомобили» Белорусского государственного аграрного технического университета

Оппонирующая организация

РУП «Минский тракторный завод»

Защита состоится 11 ноября 2011 г. в 14 часов на заседании докторского совета по защите диссертаций Д 05.04.02 при Белорусском национальном техническом университете по адресу 220013, г. Минск, пр-т Независимости 65, Белорусский национальный технический университет, корп. 1, ауд. 202, тел. (017) 292-83-85.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан ____ октября 2011 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций
кандидат технических наук, доцент

Ч.И. Жданович

© Марчук А.Н., 2011

© БНТУ, 2011

ВВЕДЕНИЕ

Наметившаяся в последнее время тенденция по сокращению себестоимости продукции отечественных производителей, определяемая обострившейся конкуренцией со стороны зарубежных поставщиков и последствиями глобального экономического кризиса осложняет процесс адаптации новых систем топливоподачи аккумуляторного типа, отличающихся как составом компонентов системы, так и иной логикой реализации топливоподачи на режиме пуска. Сокращение времени адаптации топливных систем нового поколения за счет снижения затрат на проведение натурных испытаний, решение задач пуска холодного двигателя без применения дополнительных средств облегчения пуска за счет повышения технического уровня разрабатываемых топливных систем является актуальной задачей, требующей всестороннего изучения.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами

Тема и содержание диссертационной работы соответствуют приоритетам программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2011...2015 гг., одобренной четвертым Всебелорусским народным собранием и утвержденной Указом Президента Республики Беларусь от 11.04.2011 № 136 «Инновационное развитие национальной экономики, энерго- и ресурсосбережение; наращивание экспортного потенциала страны; энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии производства конкурентоспособной продукции; развитие программно-целевого метода планирования научных исследований и разработок с учетом конкретных потребностей отраслей реального сектора экономики; повышение результативности фундаментальных, прикладных исследований и разработок, государственных научно-технических программ и инновационных проектов».

Содержание работы соответствует приоритетному направлению фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2006...2010 гг.: «Механика машин, обеспечение надежности и безопасности технических систем, повышение конкурентоспособности продукции машиностроения» Перечня направлений, утвержденного Постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 17.05.2005 № 512.

Работа выполнена в соответствии с государственной программой прикладных научных исследований «Механика» на 2006...2010 гг., по заданию: «Моделирование рабочего цикла комбинированного двигателя внутреннего сгорания», № ГР 20064580.

Исследовательская работа выполнена в рамках контракта № 02-57/30354-49521 от 28.09.2007 между РУП «Минский моторный завод» и отделением дизельных систем АО «Robert Bosch» на поставку и адаптацию топливных систем «Common Rail».

Цель и задачи исследования

Целью исследования является улучшение пусковых качеств дизелей при температурах до $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ без активации средств облегчения пуска обоснованным определением параметров топливоподачи в аккумуляторных топливных системах с электронным управлением.

В соответствии с целью диссертационной работы сформулированы следующие *задачи исследования*:

1. Разработать математическую модель рабочего процесса, включающую моделирование процессов, протекающих в цилиндре двигателя, с учетом утечек заряда через неплотности цилиндра и потерь теплоты от газов в стенки, процесса топливоподачи с определением параметров двухфазного впрыскивания, процесса разгона коленчатого вала до минимальной частоты холостого хода, позволяющую при численном моделировании определять фактические значения параметров рабочего процесса, обеспечивающие высокие пусковые качества дизелей.

2. Определить зависимости показателей пуска и характеристик разгона с параметрами топливоподачи и исходными условиями для совершенствования рабочего процесса на режиме пуска дизеля.

3. Разработать экспериментальную установку для выполнения комплексного исследования рабочего процесса и пусковых качеств дизелей с двухфазной топливоподачей при отрицательных температурах пуска, а также методическое обеспечение экспериментальных исследований для получения многофакторных регрессионных зависимостей пусковых качеств дизелей от параметров двухфазного впрыскивания топлива при температурах пуска до $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и отсутствии средств облегчения пуска.

4. Определить основные закономерности изменения пусковых качеств дизелей (время появления первой вспышки T_v и время пуска T_n) для научного обоснования и выбора параметров двухфазной топливоподачи.

5. Разработать универсальный метод определения параметров топливоподачи на режиме пуска, учитывающий зависимости для нахождения цикловой подачи «пилотной» и основной порций впрыскиваемого топлива, позволяющий получать на стадии проектирования значения многопараметровой модели реализации топливоподачи на режиме пуска, которая будет использоваться в программном обеспечении блока электронного контроля серийно выпускаемых дизелей.

Объект исследования – дизель с непосредственным впрыскиванием топлива Д-263.1ЕЗ № 1896 (6ЧН11,5/14), укомплектованный системой топливоподачи аккумуляторного типа с электронным управлением. Выбор объекта моделирования объясняется соответствием его конструкции современным направлениям развития отечественного двигателестроения и использованием системы топливоподачи нового поколения, активно используемой и планируемой к производству большинством мировых производителей дизельных двигателей автомобилей дорожного применения.

Предмет исследования – пусковые качества дизельных двигателей в условиях отрицательных температур.

Положения, выносимые на защиту:

1. Математическая модель рабочего процесса на режиме пуска при двухфазной топливоподаче, отличающаяся учетом при вычислении характеристики тепловыделения скорости впрыскивания топлива, снижения скорости испарения при взаимодействии струи со стенкой и неравномерности распределения топлива в камере сгорания, возможных вариантов наложения фаз топливоподачи и сгорания, согласованием параметров моделирования с реальными характеристиками топливоподающей системы.

2. Результаты исследований по улучшению рабочего процесса и пусковых качеств дизелей в условиях низких температур, определяющие связь показателей пуска и характеристик разгона с параметрами топливоподачи и исходными условиями, полученные на их основе, соотношения для определения общей цикловой подачи и цикловой подачи «пилотного» впрыскивания топлива на режиме холодного пуска дизеля.

3. Методическое обеспечение, отличающееся оценкой процесса пуска дизеля по пусковым и разгонным характеристикам, и специализированная экспериментальная установка для комплексного исследования рабочего процесса и пусковых качеств дизелей при двухфазной топливоподаче, отличающаяся совмещением системы измерения с системой контроля топливоподачи, позволяющая оперативно изменять параметры впрыскивания и вести синхронную запись параметров функционирования двигателя.

4. Многофакторные регрессионные зависимости времени пуска и времени появления вспышки топлива в цилиндре двигателя от параметров двухфазной топливоподачи и результаты их анализа.

5. Метод улучшения пусковых качеств дизелей в условиях низких температур без средств облегчения пуска, позволяющий на стадии проектирования определять параметры программного обеспечения электронного блока управления аккумуляторными системами топливоподачи, отличающийся от известных введением двухфазного впрыскивания на режиме пуска, обоснованной последовательностью выбора параметров топливоподачи и выделением расчетных показателей рабочего процесса, определяющих успешность пуска.

Личный вклад соискателя

Личный вклад соискателя заключается в самостоятельном выполнении расчетных и практических исследований, анализе их результатов и разработке метода улучшения пусковых качеств. Все положения, выносимые на защиту и предоставленные результаты, принадлежат лично автору. Общая концепция исследований разработана при участии научного руководителя. Авторы совместных публикаций участвовали в обсуждении результатов практических и экспериментальных исследований и постановке задач диссертационной работы.

Практическая реализация результатов работы осуществлялась в тесном сотрудничестве с кафедрой «Двигатели внутреннего сгорания» БНТУ, ОГК ОАО «МИНСКИЙ МОТОРНЫЙ ЗАВОД» и отделением дизельных систем ООО «Роберт БОШ» Москва.

Апробация результатов диссертации

Основные результаты работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях: Международной научно-практической конференции «Вместе к эффективному дорожному движению!», Минск, 2008 г.; Международной научно-практической конференции «Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов», Минск, 2009 г.; Международной научно-технической конференции «Наука – образованию, производству, экономике», Минск, 2009 г.; Международном конгрессе «Heavy Vehicles, Road Trains and Urban Transport», Минск, 2010 г.; Международной научно-технической конференции «Наука – образованию, производству, экономике», Минск, 2010 г.; Международной научно-практической конференции «Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов», Минск, 2010 г.; LXVII Научной конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, студентов и работников исследовательских подразделений НТУ, Киев, 2011 г.

Опубликованность результатов диссертации

Материалы диссертации опубликованы в 12 научных работах, среди которых 4 работы на 2,3 авторского листа в изданиях, включенных в Перечень научных изданий для опубликования результатов диссертационных исследований и 8 работ на 1,6 авторского листа других публикаций.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, библиографического списка и приложений. Работа изложена на 177 страницах, включая 68 иллюстраций на 57 страницах, 20 таблиц на 21 странице, 4 приложения на 24 страницах, 90 библиографических источников на 8 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

В первой главе диссертации рассмотрены состояние развития и направления улучшения пусковых качеств дизелей. Выполнен обзор и критический анализ современных исследований процесса холодного пуска. Решением задач холодного пуска дизелей в разное время занимались, как отечественные исследователи, среди которых Купершмидт В.Л., Семенов Н.В., Ильчук И.А., Николаев Л.А., Микулин Ю.В., Карташевич А.Н., так и зарубежные Миямото Н., Tachahashi, H., Wang, C.J., Tindle, C. R. и др. Отмечено, что вопросы совершенствования пуска только за счет использования возможностей топливных систем аккумуляторного типа изучены недостаточно.

Зарубежными авторами отмечаются отдельные преимущества указанных систем на режиме пуска, однако работы с комплексным подходом к раскрытию их потенциала в вопросе обеспечения надлежащего уровня пусковых качеств в литературе отсутствуют.

По результатам анализа проведенных исследований выделены общие факторы, включая параметры топливоподачи, оказывающие определяющее влияние на процесс пуска дизеля (рисунок 1). Приведены доводы, наглядно обосновывающие необходимость выполнения работы по улучшению пусковых качеств при температурах до $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ без применения средств облегчения пуска.

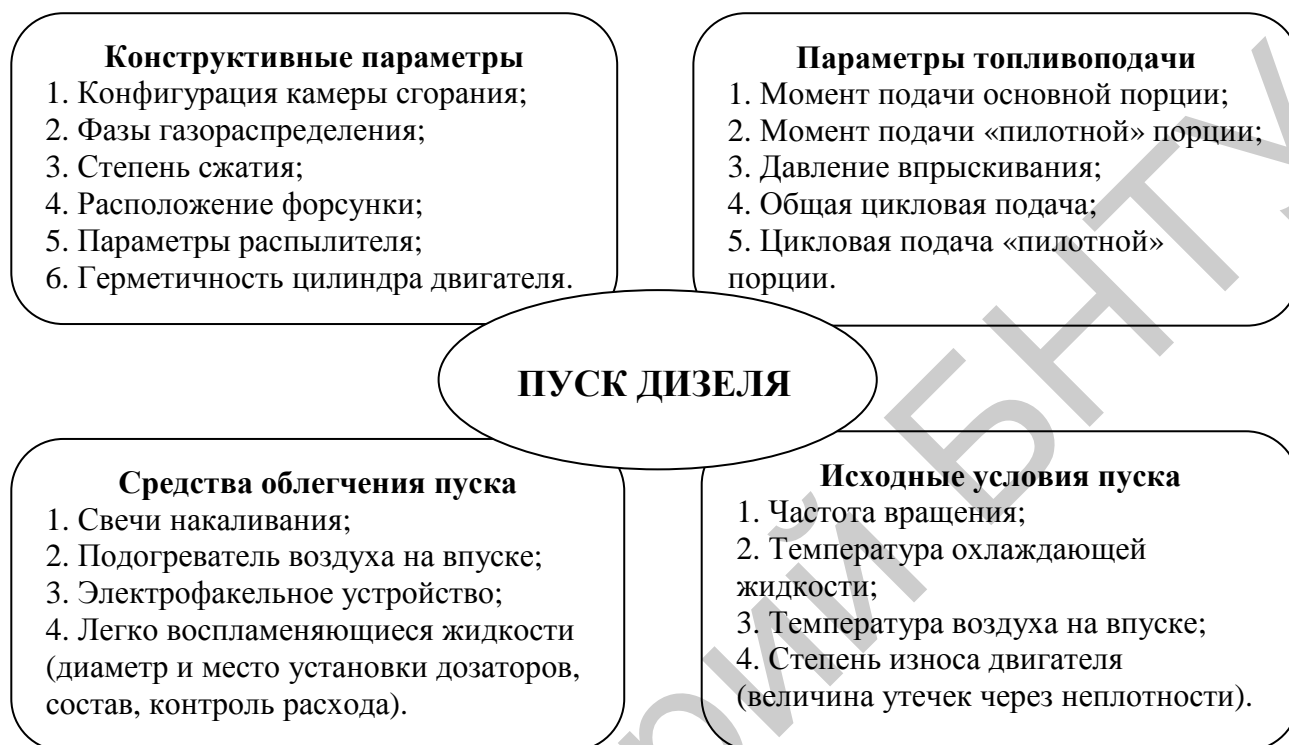


Рисунок 1 – Факторы, определяющие процесс пуска дизеля

Вторая глава посвящена разработке математической модели рабочего процесса и анализу результатов моделирования. Математическая модель основана на уравнении первого закона термодинамики, решаемого конечно-разностным методом для малых участков индикаторной диаграммы.

Текущие давления газов в цилиндре необходимые для построения индикаторной диаграммы определяются с помощью следующей зависимости:

$$P_{n+1} = \frac{2000 \cdot G_{\text{ц}} \cdot Hu \cdot (\Delta x - \Delta x_w - \Delta x_m) + P_n \left(\left(2 \cdot \frac{C_v}{R} + 1 \right) \cdot V_n - V_{n+1} \right)}{\left(2 \cdot \frac{C_v}{R} + 1 \right) \cdot V_{n+1} - V_n}, \quad (1)$$

где P_n и P_{n+1} – давления газов в начале и конце расчетного участка, МПа;
 $G_{\text{ц}}$ – цикловая подача топлива, кг/цикл;
 Hu – низшая теплотворная способность топлива, кДж/кг;
 Δx – относительное количество теплоты, выделившейся на участке;
 Δx_w – относительные потери теплоты от газов в стенки на участке;

Δx_m – относительное изменение полной энергии системы, обусловленное изменением массы заряда вследствие утечек в цилиндре;

C_v – теплоемкость рабочего тела при постоянном объеме для расчетного участка, Дж/(кг·К);

R – универсальная газовая постоянная, Дж/(кг·К);

V_n и V_{n+1} – объемы газов в начале и конце рассматриваемого участка, см³.

В процессах сжатия и расширения количество теплоты, выделившейся на участке, $\Delta x = 0$. Для нахождения Δx в процессе сгорания необходимо знать характеристику тепловыделения $x = f(\varphi)$ в зависимости от угла поворота коленчатого вала φ .

Предложены зависимости, позволяющие получить характеристику тепловыделения при сгорании топлива в цилиндре дизеля, учитывающие скорость впрыскивания топлива, снижение скорости испарения топлива при взаимодействии струи со стенкой и неравномерность распределения топлива в камере сгорания, что позволяет проводить исследование рабочего процесса при пуске и в условиях ограниченных возможностей развития топливных струй. Распределение топлива по сечениям струи при различных перепадах давления аппроксимировано кривыми распределения вероятности Гаусса.

Моделирование процесса сгорания на режиме пуска имеет отличительные особенности, обусловленные большими значениями периода задержки воспламенения топлива при низких температурах окружающего воздуха и малыми продолжительностями периода впрыскивания по углу поворота коленчатого вала. В результате анализа рабочего процесса при двухфазном впрыскивании топлива были выделены 3 основных варианта сочетаний фаз топливоподачи и сгорания, при которых возможен успешный запуск двигателя, предусматривающие различные алгоритмы вычисления периода задержки воспламенения основной порции топлива.

При проведении моделирования рабочего процесса двигателя предусмотрено согласование параметров моделирования с реальными характеристиками топливоподающей системы, такими как электрическая и гидравлическая паузы между двумя последовательными впрыскиваниями инжектора.

Также во второй главе создана модель расчета динамики изменения частоты вращения коленчатого вала n , основанная на дифференциальном уравнении движения, которое решено с использованием метода Адамса:

$$n \frac{dn}{d\varphi} = \frac{900}{\pi^2 \cdot J} (M_{ст} + \sum M_{иц} - M_{сопр}), \quad (2)$$

где J – суммарный момент инерции движущихся деталей двигателя, приведенный к оси коленчатого вала, кг·м²;

$M_{ст}$ – крутящий момент стартера, Н·м;

$\sum M_{иц}$ – суммарный крутящий момент двигателя, Н·м;

$M_{сопр}$ – момент сопротивления прокручиванию двигателя, Н·м.

Программа «Расчет рабочего цикла дизеля на режиме пуска» реализована на языке программирования Object Pascal в среде программирования Delphi 7.0.

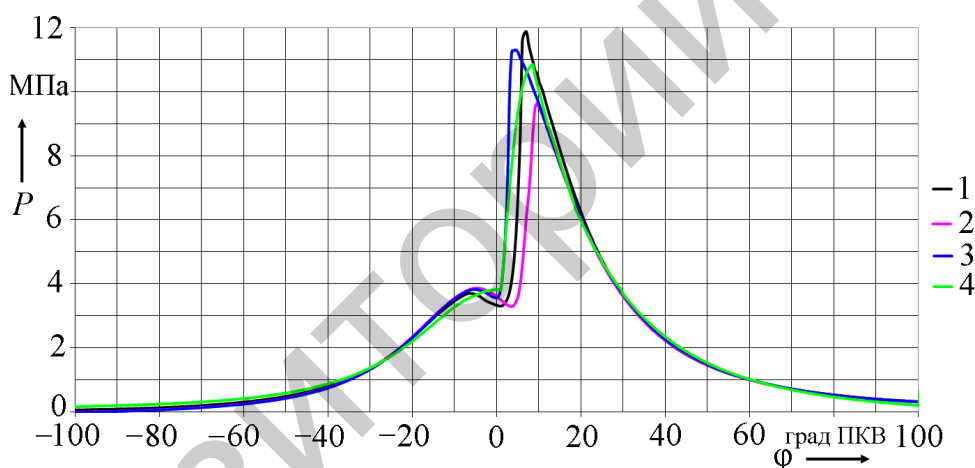
Для проверки адекватности модели рабочего процесса было выполнено сопоставление точности модели с величиной, характеризующей точность наблюдений путем нахождения параметра F , являющегося частным от деления оценки дисперсии неадекватности математической модели S_D на оценку дисперсии ошибки единичного наблюдения S_e :

$$F = \frac{S_D / \varphi_4}{S_e / \varphi_3}, \quad (3)$$

где φ_4 – число степеней свободы числителя случайной величины F ;
 φ_3 – число степеней свободы знаменателя случайной величины F .

Для вероятности уровня значимости проверки адекватности $\delta = 0,05$ путем проверки условия $F = 0,764 < F_{кр} = 1,16$ был сделан вывод об адекватности математической модели.

Расчетная и экспериментальные индикаторные диаграммы пусков при неизменных параметрах топливоподачи представлены на рисунке 2.



1 – индикаторная диаграмма попытки №1; 2 – индикаторная диаграмма попытки №2;
 3 – индикаторная диаграмма попытки №3; 4 – расчетная индикаторная диаграмма

Рисунок 2 – Сопоставление результатов математического моделирования и индицирования двигателя 6ЧН11,5/14 на режиме пуска

Проведено моделирование рабочего процесса дизеля при изменении параметров топливоподачи: $G_{ц}$ – общая цикловая подача, $g_{ц}$ – цикловая подача «пилотного» впрыскивания, Θ – начало подачи основного впрыскивания, $\Theta_{п}$ – начало подачи «пилотного» впрыскивания, P_R – давление в топливном аккумуляторе, φ_0 – величина паузы между впрыскиваниями и исходных условий пуска: n , температура воздуха на впуске T_0 , величина утечек заряда через неплотности в парах гильза-поршень и клапан-седло μ_f , позволившее оценивать их влияние на показатели рабочего процесса и пусковые качества. Пример зависимостей максимальных температуры T_{max} и давления сгорания P_{max} при двухфазном впрыскивании от n и Θ приведен на рисунке 3.

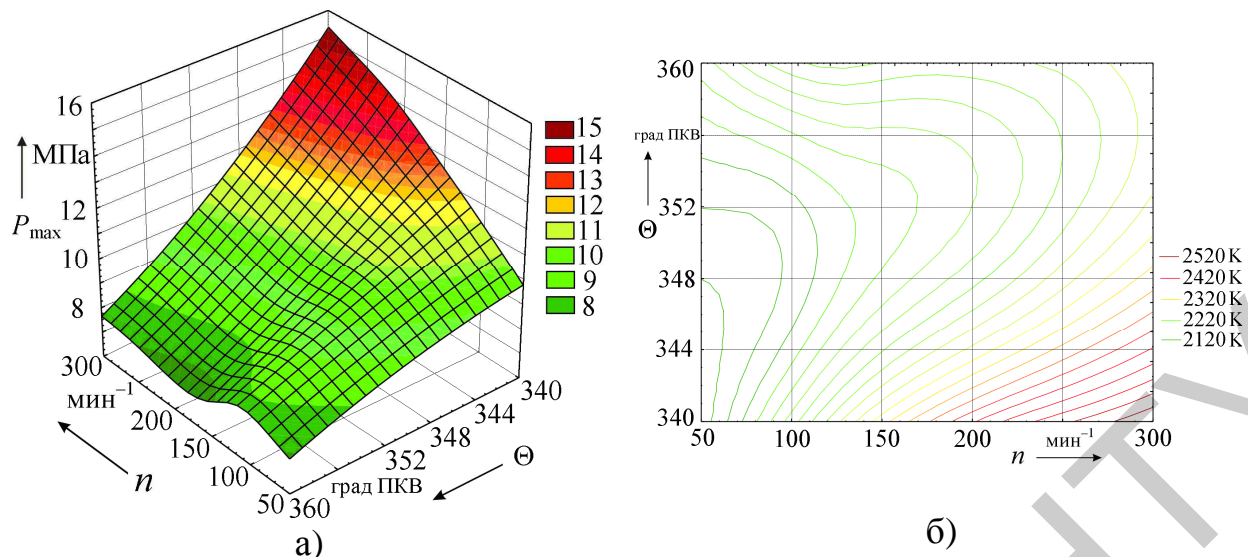


Рисунок 3 – Зависимости P_{\max} (а) и T_{\max} (б) от n и Θ

Установлено, что при впрыскивании «пилотной» порции топлива более $7 \text{ мм}^3/\text{цикл}$ компенсируются потери теплоты вследствие теплообмена и утечек свежего заряда при частотах вращения коленчатого вала более 100 мин^{-1} для величины условного эффективного проходного сечения неплотностей цилиндр-поршень и клапан-седло $1,5 \text{ мм}^2$.

Получены зависимости индикаторных показателей рабочего процесса дизеля при пуске для величины «пилотной» порции топлива $10 \text{ мм}^3/\text{цикл}$ от частоты вращения коленчатого вала и характеристик впрыскивания топлива, позволяющие определять для выбранных значений максимального давления и температуры параметры топливоподачи и пусковую частоту вращения.

Определены разгонные характеристики двигателя при пуске. При одинаковых величинах цикловой порции топлива для однофазного и двухфазного впрыскиваний и моментах начала топливоподачи разгон при двухфазном впрыскивании происходит быстрее на 1 цикл (120 градусов поворота коленчатого вала (град ПКВ), что незначительно (рисунок 4). Однако при использовании рациональных для каждого типа топливоподачи параметров для получения равных времен разгона, однофазному впрыскиванию требуется $150 \text{ мм}^3/\text{цикл}$, когда как двухфазному только $130 \text{ мм}^3/\text{цикл}$.

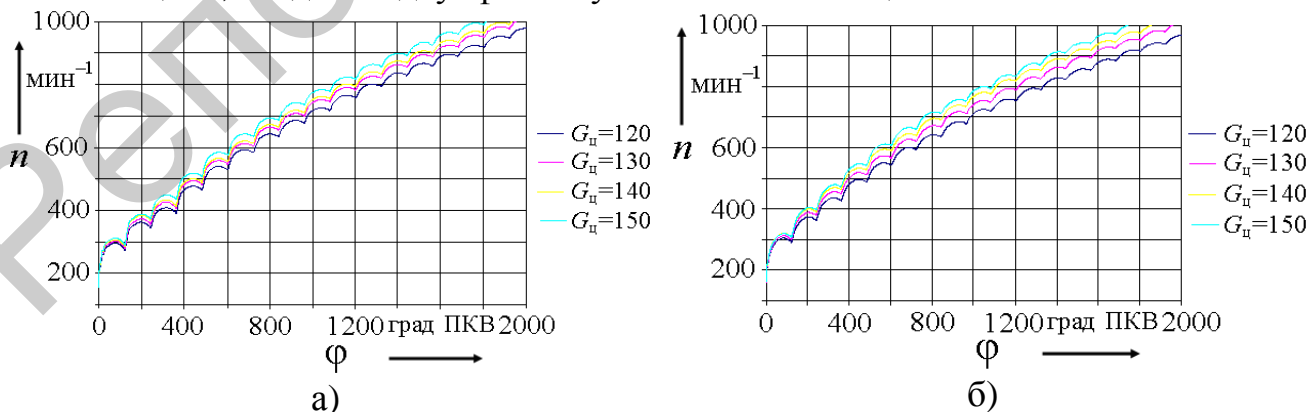


Рисунок 4 – Разгонные характеристики дизеля при однофазном (а) и двухфазном (б) впрыскивании топлива при различных G_u ($\text{мм}^3/\text{цикл}$)

Для обеспечения надежного пуска холодного дизеля исследуемого типа при температуре окружающей среды до $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ рекомендуется использовать двухфазное впрыскивание топлива. «Пилотная» порция величиной $10\text{ мм}^3/\text{цикл}$ и продолжительностью ~ 1 град ПКВ должна подаваться в камеру сгорания за $14\dots 18$ град ПКВ до верхней мертвой точки (ВМТ), а основная порция, продолжительностью ~ 5 град ПКВ и величиной $120\text{ мм}^3/\text{цикл}$ должна отставать от «пилотной» на $6\dots 8$ град ПКВ, при этом обеспечиваются требуемые пусковые качества дизеля.

На основании обобщения результатов моделирования предложены зависимости для определения величины цикловой подачи «пилотной» и основной порций топлива на режиме пуска, приведенные в пятой главе.

Необходимая для конкретного режима величина «пилотной» порции определялась по результатам моделирования из условия компенсации потерь, определяемых утечками заряда и теплоотдачей в стенки цилиндра, для достижения уровня температуры и давления смеси обеспечивающих равную или меньшую чем у «пилотной» порции величину задержки воспламенения основной порции топлива. Условием выбора величины цикловой подачи основного впрыскивания было обеспечение минимально возможного для заданных условий времени разгона коленчатого вала при нахождении максимального давления сгорания в допустимых пределах.

В третьей главе рассматривается экспериментальная установка, представленная на рисунке 5, программа и методика исследования. Выполнено обоснование объекта исследования. Разработан экспериментальный комплекс, позволяющий выполнять оценку пусковых качеств дизелей при отрицательных температурах окружающей среды.

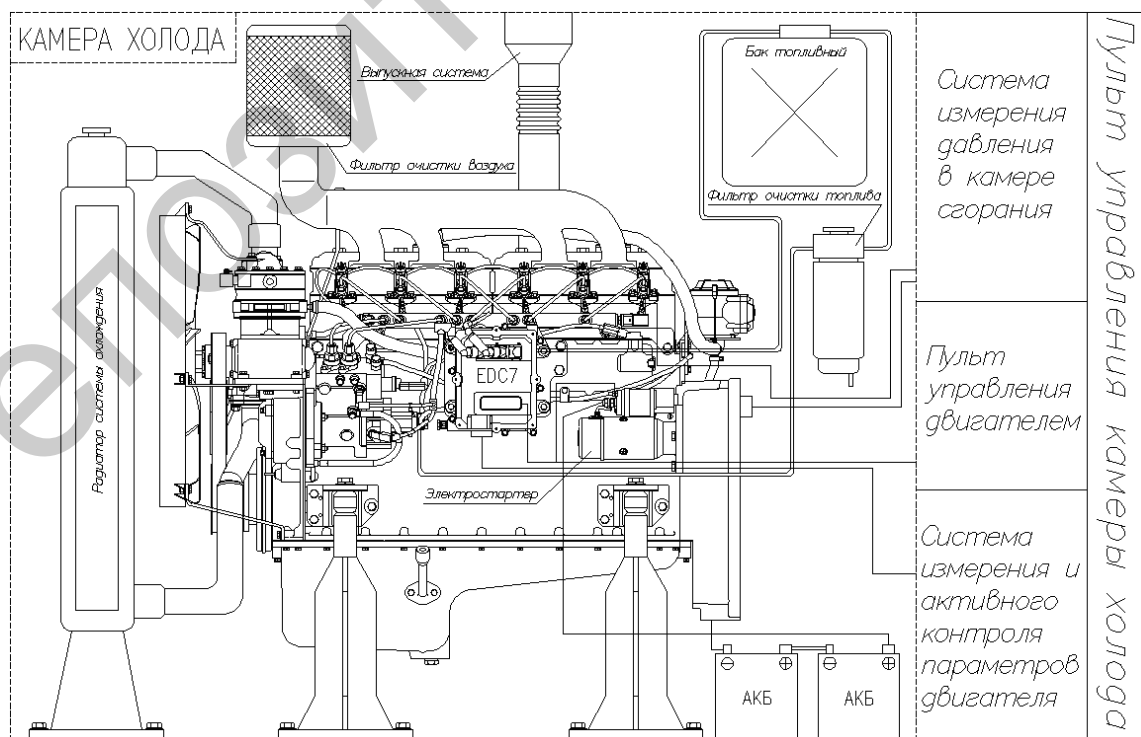


Рисунок 5 – Экспериментальная установка

Отличительные особенности экспериментального комплекса:

- использование в качестве объекта испытаний серийного дизеля, в условиях максимально близких к реальной эксплуатации;
- оперативное изменение параметров топливоподачи программированием блока электронного контроля системы топливоподачи;
- одновременный контроль давления сгорания во всех цилиндрах;
- высокопроизводительная система измерений, базирующаяся на специализированном блоке электронного контроля топливоподачи;
- непрерывная синхронная запись измерений на протяжении всего пуска.

Измерение параметров функционирования двигателя проводилось в соответствии с РД 37.001.021-84.

Описана методика испытаний, позволяющая на базе результатов сравнительно небольшого количества экспериментов холодного пуска получать регрессионные зависимости пусковых качеств от параметров топливоподачи на режиме пуска в аккумуляторных системах дизелей с электронным управлением. При этом использован насыщенный близкий к D-оптимальному план проведения эксперимента.

Методика исследований включала оценку пусковых качеств объекта исследований при температуре $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ без средств облегчения пуска и анализ рабочего процесса в зависимости от параметров топливоподачи.

Оценка пусковых качеств, при проведении исследования, осуществлялась по времени пуска $T_{\text{п}}$, которое определялось периодом от начала прокручивания коленчатого вала до отключения стартовой цикловой подачи. Дополнительным оценочным параметром выступало время появления первой вспышки $T_{\text{в}}$.

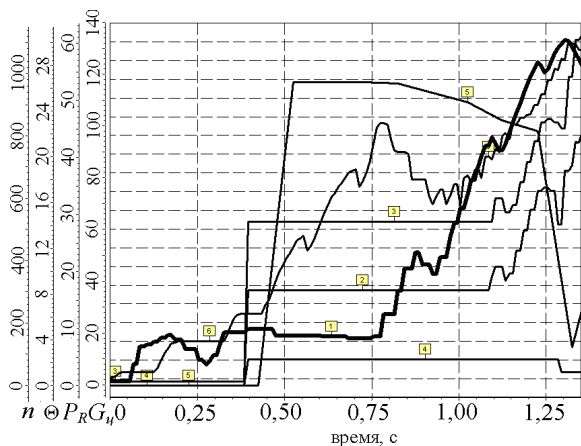
В процессе экспериментальных исследований выполнялись пробные пуски исследуемого двигателя при температуре $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ с различными сочетаниями параметров топливоподачи. Частота прокручивания коленчатого вала электростартером, цикловая подача и напряжение аккумуляторных батарей поддерживались на постоянном уровне на протяжении всех опытов. Перерыв между попытками запуска составлял не менее 4-х часов, что обеспечивало полное выравнивание температур рабочих сред и деталей двигателя для достижения сопоставимых условий пуска. На протяжении каждой попытки велась синхронная запись показателей работы двигателя в режиме реального времени. Анализ пусковых качеств в первом приближении осуществлялся по диаграммам пуска и индикаторным диаграммам, пример которых приведен на рисунках 6 и 7.

Последующая обработка дискретных значений записанных искомых величин, характеризующих пуск двигателя, выполнялась в программе Measure Data Analyzer V5, являющейся приложением программной оболочки INCA 5.4.

В четвертой главе приведены результаты экспериментального исследования и регрессионные зависимости пусковых качеств дизелей.

Выполнена обработка результатов экспериментального исследования (рисунок 6), позволившая определить $T_{\text{в}}$ и $T_{\text{п}}$. Обработка индикаторных диаграмм пуска (рисунок 7) позволила выделить оценочные параметры

рабочего процесса, являющихся определяющими для достижения заданных пусковых качеств. Установлено, что минимальные значения периода задержки воспламенения τ соответствуют минимальным значениям T_B , а максимальные значения среднего индикаторного давления p_i – минимальным значениям $T_{п}$.



1 – n , мин⁻¹; 2 – Θ , град ПКВ до ВМТ; 3 – $\Theta_{п}$;
4 – статус подачи; 5 – $G_{ц}$, мм³/цикл; 6 – P_R , МПа
Рисунок 6 – Диаграмма пуска

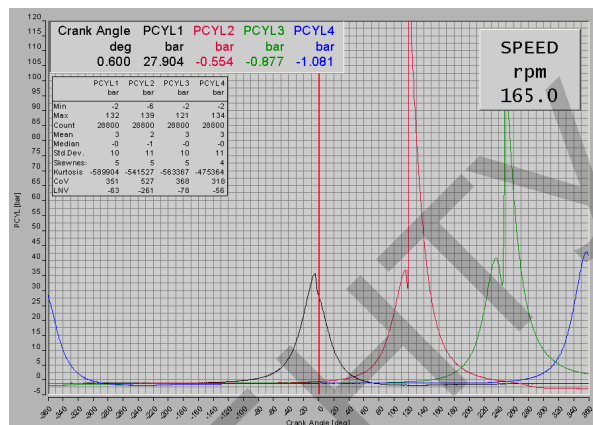


Рисунок 7 – Индикаторные диаграммы 3-го цикла холодного пуска двигателя 6ЧН11,5/14 при температуре -10 °С

По результатам обработки экспериментальных значений получены регрессионные зависимости времени пуска $T_{п}$ и времени вспышки T_B , от параметров топливоподачи на режиме пуска при температуре -10 °С:

$$T_{п} = 1,3 - 0,53 \cdot g_{ц} + 1,844 \cdot P_R + 0,144 \cdot \varphi_o + 0,786 \cdot \Theta - 0,03 \cdot g_{ц}^2 + 1,35 \cdot P_R^2 + 1,7 \cdot \varphi_o^2 + 3,164 \times \Theta^2 + 0,131 \cdot g_{ц} \cdot P_R - 0,37 \cdot g_{ц} \cdot \varphi_o - 0,04 \cdot g_{ц} \cdot \Theta + 0,057 \cdot P_R \cdot \varphi_o + 0,011 \cdot P_R \cdot \Theta - 0,04 \cdot \varphi_o \cdot \Theta \quad (4)$$

$$T_B = 0,3 - 0,44 \cdot g_{ц} + 1,077 \cdot P_R + 0,04 \cdot \varphi_o + 0,345 \cdot \Theta + 0,05 \cdot g_{ц}^2 + 0,075 \cdot P_R^2 + 1,45 \cdot \varphi_o^2 + 0,155 \times \Theta^2 + 0,035 \cdot g_{ц} \cdot P_R - 0,15 \cdot g_{ц} \cdot \varphi_o + 0,03 \cdot g_{ц} \cdot \Theta - 0,14 \cdot P_R \cdot \varphi_o + 0,045 \cdot P_R \cdot \Theta - 0,03 \cdot \varphi_o \cdot \Theta \quad (5)$$

Примеры графического анализа регрессионных зависимостей приведены на рисунках 8 и 9.

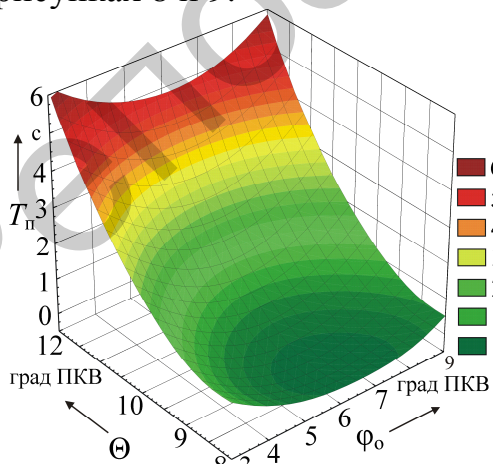


Рисунок 8 – Значение $T_{п}$ для различных φ_o , при $P_R = 25$ МПа и $g_{ц} = 10$ мм³/цикл

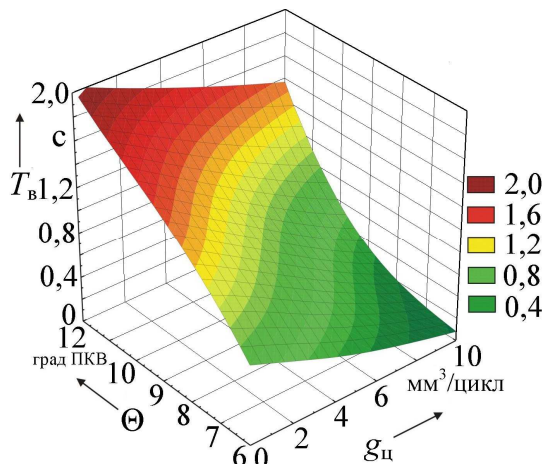


Рисунок 9 – Значение T_B для различных $g_{ц}$, при $P_R = 25$ МПа и $\varphi_o = 9$ град ПКВ

Регрессионные зависимости позволили определить степень влияния отдельных параметров топливоподачи на пусковые качества и выделить значения, обеспечивающие минимальные время пуска и время вспышки для исследуемого двигателя. Минимальное время вспышки T_v обеспечивается при: $P_R = 25$ МПа, $\varphi_o = 5,9$ град ПКВ и $\Theta = 6,0$ град ПКВ до ВМТ, $g_{ц} = 10$ мм³/цикл. Минимальное время пуска $T_{п}$ при: $P_R = 25$ МПа, $g_{ц} = 10$ мм³/цикл, $\varphi_o = 6,2$ град ПКВ и $\Theta = 8,7$ град ПКВ до ВМТ.

Проведено сравнение эффективности пуска при однофазном и двухфазном впрыскиваниях при выбранных для каждого типа параметрах топливоподачи, в результате которого установлено сокращение времени пуска $T_{п}$ в 2,7 раза при активации «пилотного» впрыскивания, что имеет социальный эффект, выражающийся в облегчении труда водителя.

В пятой главе разработан метод улучшения пусковых качеств дизелей. В основе предлагаемого метода лежат как эмпирические зависимости, полученные на основании практических исследований пуска, так и алгоритмы выбора параметров топливоподачи по результатам анализа результатов моделирования процесса пуска при помощи предлагаемой математической модели. Выбор параметров выполняется в определенной последовательности: $G_{ц} \rightarrow g_{ц} \rightarrow P_R \rightarrow \Theta_{п} \rightarrow \varphi_o$.

На основании анализа выполненного во второй главе была предложена зависимость, которая позволяет в аккумуляторных системах с электронным управлением определять уровень $G_{ц}$ (мм³/цикл):

$$G_{ц} = G_{баз} \cdot K_{пр} \cdot \frac{M_{сопр}}{M_t}, \quad (6)$$

где $G_{баз}$ – базовая цикловая подача, мм³/цикл;

$K_{пр}$ – коэффициент приведения, учитывающий эффективность использования цикловой подачи;

$M_{сопр}$ – фактический момент сопротивления прокручиванию, Н·м;

M_t – момент сопротивления прокручиванию для предельной температуры пуска и фактической частоты вращения, Н·м.

Величина базовой цикловой подачи определяется по результатам моделирования рабочего процесса рассматриваемого двигателя при использовании однофазного впрыскивания. За базовую цикловую подачу принимается величина, при которой достигается максимальное значение p_i при P_{max} в допусках пределах и минимальное значение времени разгона коленчатого вала T_p . Она определяется из выражения:

$$G_{баз} = (0,08...0,11) \cdot V_{ц}, \quad (7)$$

где $V_{ц}$ – рабочий объем цилиндра, см³.

Коэффициент приведения зависит от эффективности параметров топливоподачи при фактической частоте вращения коленчатого вала и может быть определен из предлагаемого эмпирического выражения:

$$K_{\text{пр}} = 1 - \frac{n_{\text{тек}}^2}{(K_{\text{эф}} \cdot n_{\text{обр}})^2}, \quad (8)$$

где $n_{\text{тек}}$ – текущее значение частоты вращения коленчатого вала, мин^{-1} ;
 $K_{\text{эф}}$ – коэффициент эффективности параметров топливоподачи при изменяющихся условиях пуска в процессе разгона коленчатого вала. $K_{\text{эф}}$ находится в пределах 1,7...2,2;

$n_{\text{обр}}$ – значение частоты отключения стартовой цикловой подачи, мин^{-1} .

Основываясь на положениях, изложенных во второй главе, предлагается использовать следующую эмпирическую зависимость для нахождения базового уровня цикловой подачи «пилотного» впрыскивания:

$$g_{\text{ц}} = G_{\text{ц}} \cdot K_{\text{п}} \cdot K_{\text{пр}} \geq g_{\text{мин}}, \quad (9)$$

где $K_{\text{п}}$ – коэффициент отношения $g_{\text{ц}}$ к $G_{\text{ц}}$;

$g_{\text{мин}}$ – минимально возможная величина впрыскивания, $\text{мм}^3/\text{цикл}$.

Для двигателей исследуемого типа при определении базового уровня $g_{\text{ц}}$ принимается $K_{\text{п}} = 0,04...0,12$.

Произведя вычисления по формулам (5, 6, 7 и 8), получаем массивы значений общей цикловой подачи и цикловой подачи «пилотного» впрыскивания на режиме пуска для различных частот вращения коленчатого вала и температур пуска, представленные на рисунках 10 и 11.

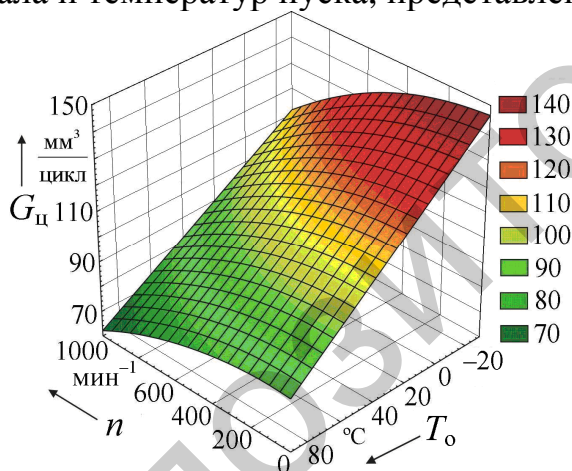


Рисунок 10 – Массив расчетных значений общей цикловой подачи $G_{\text{ц}}$

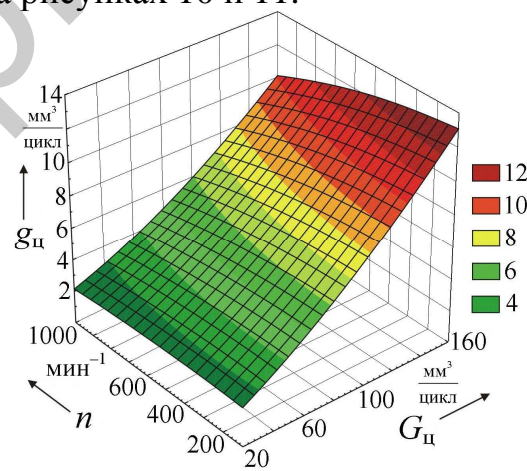


Рисунок 11 – Массив значений цикловой подачи «пилотного» впрыскивания $g_{\text{ц}}$

Оценка уровня давления топлива P_R в зоне частот прокручивания ведется по приемлемому расчетному минимальному значению задержки воспламенения «пилотного» впрыскивания при различных значениях продолжительности впрыскивания для выбранного уровня цикловой подачи и постоянном значении $\Theta_{\text{п}}$. Степень изменения P_R по мере разгона коленчатого вала в большей степени определяется необходимостью плавного достижения начального уровня давления, определенного для режима минимального холостого хода. Поле значений заданного уровня давления в топливном аккумуляторе P_R на режиме пуска представлено на рисунке 12.

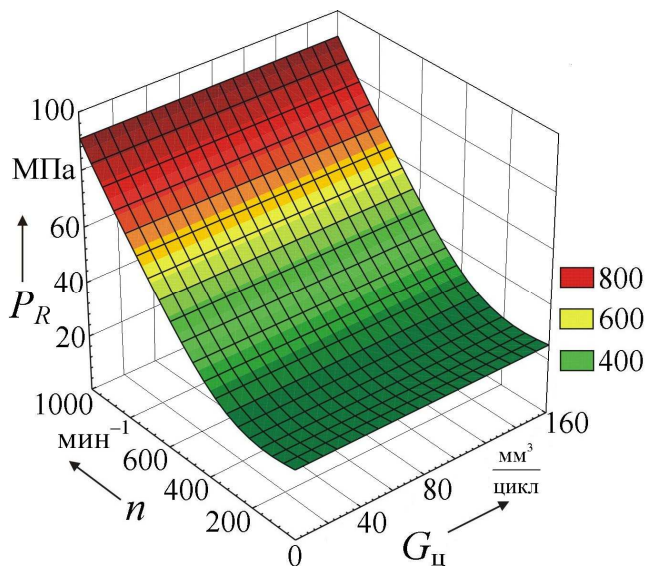


Рисунок 12 – Массив значений P_R

Выбор $\Theta_{\text{п}}$ «пилотного» впрыскивания для малых частот вращения базируется на необходимости обеспечения гарантированного воспламенения «пилотной» порции с одной стороны и обеспечения наилучших условий для воспламенения основной порции в пределах гарантирующих получение достаточной величины работы газов в цилиндре. За $\Theta_{\text{п}}$ принимается угол, соответствующий минимальному значению задержки воспламенения (таблица 1).

Таблица 1 – Расчетные значения $\Theta_{\text{п}}$

n , мин ⁻¹	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
$\Theta_{\text{п}}$, град ПКВ	12	14	16	18	18	16	14	14	12	12

Выбор величины паузы между окончанием «пилотного» и началом основного впрыскивания основывается на моделировании процесса сгорания с выбранными значениями $\Theta_{\text{п}}$, $g_{\text{ц}}$, $G_{\text{ц}}$ и различными φ_0 для всего ряда частот вращения на режиме пуска. При равенстве значений p_i для различных значений φ_0 предпочтение отдается значениям (таблица 2), при которых τ_i минимально.

Таблица 2 – Расчетные значения φ_0

n , мин ⁻¹	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
φ_0 , град ПКВ	7	9	11	13	15	15	15	16	16	17

Полученные значения $G_{\text{ц}}$, $g_{\text{ц}}$, P_R , $\Theta_{\text{п}}$ и φ_0 заносятся в соответствующие массивы программного обеспечения блока электронного контроля топливоподачи, после чего согласно предлагаемому методу выполняются проверочные пуски в камере холода по методике, изложенной в главе 3.

Применение описанного метода позволяет сократить время испытаний в камере холода, направленных на определение параметров топливоподачи на режиме пуска, на 80...90 %. При этом экономический эффект, обусловленный сокращением прямых затрат на эксплуатацию экспериментального комплекса, рассчитанный для одной модели дизеля ОАО «МИНСКИЙ МОТОРНЫЙ ЗАВОД», с аккумуляторной системой топливоподачи составит 44,63 млн руб.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На базе комплексного подхода к оценке эффективности пуска дизелей, укомплектованных аккумуляторными топливными системами с электронным управлением, выполнено научное обоснование определения параметров

топливоподачи, обеспечивающих высокий уровень пусковых качеств при температурах до $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ без средств облегчения пуска.

Основные научные результаты диссертации

1. Разработана математическая модель рабочего процесса на режиме пуска дизеля [4, 6, 7, 8, 11, 12], позволяющая проводить моделирование процесса сгорания с применением «пилотного» впрыскивания, отличающаяся учетом при вычислении характеристики тепловыделения скорости впрыскивания топлива, снижения скорости испарения топлива при взаимодействии струи со стенкой и неравномерности распределения топлива в камере сгорания, возможных вариантов наложения фаз топливоподачи и сгорания, согласованием параметров моделирования с реальными характеристиками топливоподающей системы и позволяющая вычислять время разгона коленчатого вала с учетом характеристик электростартера и момента сопротивления прокручиванию коленчатого вала при заданной температуре пуска.

2. Получены результаты исследований по улучшению рабочего процесса и пусковых качеств дизелей в условиях низких температур [1, 5, 9, 10], определяющие связи показателей пуска и характеристик разгона с параметрами топливоподачи и исходными условиями, а также разработанные на их основе, соотношения [4] для определения общей цикловой подачи и цикловой подачи «пилотного» впрыскивания топлива на режиме холодного пуска дизеля.

3. Разработаны экспериментальный комплекс [3] и методика испытаний [3] исследования рабочего процесса и пусковых качеств дизелей при отрицательных температурах пуска, позволяющие реализовать заданные параметры двухфазной подачи топлива, проводить оценку эффективности их применения и выполнять на базе результатов сравнительно небольшого количества экспериментов окончательный выбор параметров топливоподачи на режиме пуска в программах электронного управления аккумуляторными системами. Отличительной особенностью комплекса является совмещение высокопроизводительной системы измерения с системой контроля топливоподачи, позволяющей оперативно изменять параметры впрыскивания и вести синхронную запись параметров функционирования двигателя. Методика испытаний основана на традиционном методе планирования эксперимента по насыщенному плану, близкому к D-оптимальному и отличается от подобных набором критериев оценки процесса пуска дизеля.

4. Определены регрессионные зависимости времени появления первой вспышки $T_{в}$ и времени пуска дизеля $T_{п}$ от параметров двухфазной топливоподачи при температуре $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и отсутствии средств облегчения пуска. По регрессионным зависимостям установлены параметры топливоподачи, обеспечивающие минимальное время пуска исследуемого дизеля $T_{п}$: $P_R = 25\text{ МПа}$, $\varphi_0 = 6,2\text{ град ПКВ}$, $\Theta = 8,7\text{ град ПКВ до ВМТ}$ и $g_{ц} = 10\text{ мм}^3/\text{цикл}$. В результате применения «пилотного» впрыскивания с обоснованными параметрами топливоподачи на режиме пуска дизеля 6ЧН11,5/14 производства ОАО «ММЗ» и соответствующего изменения программы управления блока электронного контроля получено сокращение

времени пуска в 2,7 раза [2], по сравнению с однофазным впрыскиванием, что имеет социальный эффект, выражающийся в облегчении труда водителя.

5. Разработан метод улучшения пусковых качеств дизельного двигателя при температурах до $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ без средств облегчения пуска [4] обоснованным выбором параметров топливоподачи. Метод отличается от известных введением двухфазного впрыскивания на режиме пуска, обоснованной последовательностью выбора параметров топливоподачи, использованием разработанных зависимостей для определения общей цикловой подачи и цикловой подачи «пилотного» впрыскивания, а также выделением расчетных параметров рабочего процесса, определяющих успешность пуска. Метод обеспечивает обоснованное определение параметров топливоподачи, гарантирующих улучшение пусковых качеств дизелей и сокращение времени испытаний в камере холода на 80...90 %, что обеспечивает экономический эффект для одной модели дизеля ОАО «ММЗ», в размере 44,63 млн руб.

Рекомендации по практическому использованию результатов

Математическая модель рабочего процесса на режиме пуска, результаты моделирования, методика экспериментального исследования и регрессионные зависимости, результаты их анализа и метод улучшения пусковых качеств дизелей используются в практической работе управлением главного конструктора ОАО «ММЗ» и подразделением адаптации дизельных систем компании ООО «Роберт БОШ» (Москва) для обеспечения заданного уровня пусковых качеств разрабатываемых и улучшения пуска серийно выпускаемых дизелей ОАО «ММЗ», ОАО «КАМАЗ», ОАО «Автодизель» (ЯМЗ), что подтверждается соответствующими актами внедрения результатов диссертационных исследований. Также указанные материалы используются при проведении исследовательских работ в Белорусском национальном техническом университете.

Разработанный метод улучшения пусковых качеств дизелей укомплектованных аккумуляторной системой топливоподачи с электронным управлением, путем использования программы математического моделирования и полученных регрессионных зависимостей позволяет проверить пусковые качества на стадии разработки дизеля, избежать ошибок проектирования, и значительно сократить объем испытаний и время внедрения в производство топливной системы, максимально эффективно используя доступные возможности управления топливоподачей.

Впервые, разработанный метод, был применен при доработке программного обеспечения блока управления дизеля Д-263.1ЕЗ, выпускаемого ОАО «ММЗ» для автомобиля МАЗ-555147, что подтверждается разрешением на использование в серийно выпускаемой продукции № 001/2010 от 18.10.2010.

Подана заявка № а20111017 от 19.07.2011 на выдачу патента Республики Беларусь на изобретение «Распылитель форсунки», позволяющий осуществлять впрыскивание топлива через два ряда, независимо управляемых, сопловых отверстий для более гибкого регулирования топливоподачи на режиме пуска.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи, отвечающие требованиям пункта 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоения ученых званий в Республике Беларусь

1. Кухарёнок, Г.М. Организация топливоподачи на режиме пуска в аккумуляторных системах дизелей с электронным управлением / Г.М. Кухарёнок, А.Н. Марчук // Вестник БНТУ. – 2009. – № 5. – С. 59–66.
2. Кухарёнок, Г.М. Выбор параметров топливоподачи на режиме пуска в аккумуляторных системах дизелей с электронным управлением / Г.М. Кухарёнок, А.Н. Марчук // Вестник Национального транспортного университета (Украина). – 2010. – № 20. – С. 209–212.
3. Кухарёнок, Г.М. Экспериментальная установка для исследования пусковых качеств дизелей с электронным управлением топливоподачей / Г.М. Кухарёнок, А.Н. Марчук // Вестник Всеукраинского национального университета им. В. Даля. – 2010. – № 6. – С. 80–84.
4. Кухарёнок, Г.М. Метод определения параметров топливоподачи в дизелях на режиме пуска / Г.М. Кухарёнок, А.Н. Марчук // Вестник БНТУ. – 2011. – № 1. – С. 40–48.

Другие научные статьи

5. Марчук, А.Н. Мероприятия по улучшению пусковых качеств дизелей семейства Д-245 с аккумуляторными системами топливоподачи / А.Н. Марчук // Вместе к эффективному дорожному движению : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 28–31 окт. 2008 г. / Бел. нац. техн. унив. ; редкол.: А.С. Калиниченко [и др.]. – Минск, 2008. – С. 264–270.
6. Марчук, А.Н. Математическая модель рабочего процесса дизеля при пуске / А.Н. Марчук, А.Н. Петрученко // Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 23–24 окт. 2009 г. / Бел. нац. техн. унив. ; редкол.: Ф.А. Романюк [и др.]. – Минск, 2010. – С. 193–197.
7. Marchuk, A. Successful diesel cold start through proper pilot injection parameters selection / A. Marchuk, G. Kuharenok, A. Petruchenko // Heavy vehicles, road trains and urban transport : Book of papers of International congress, Minsk, 6–9 Oct. 2010 / Bel. nat. techn. univ.; scient. and techn. committee : V.M. Khroustalev [et al.]. – Minsk, 2010. – P. 232–240.
8. Кухаренко, Г.М. Определение параметров топливоподачи, обеспечивающих сокращение времени разгона дизеля при пуске / Г.М. Кухаренко, А.Н. Марчук // Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 27–29 окт. 2010 г. / Бел. нац. техн. унив.; редкол.: Ф.А. Романюк [и др.]. – Минск, 2011. – С. 318–322.

Тезисы докладов на научных конференциях

9. Марчук, А.Н. Особенности организации топливоподачи на режиме пуска в аккумуляторных системах дизелей с электронным управлением / А.Н. Марчук // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 7-ой Международ. науч.-техн. конф., Минск, 21 апр. 2009 г. / Бел. нац. техн. унив.; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2009. – С. 350–351.
10. Марчук, А.Н. Пусковые качества дизеля при двухфазном впрыске топлива / А.Н. Марчук, А.Н. Петрученко // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 8-ой Международ. науч.-техн. конф., Минск, 20 апр. 2010 г.: в 4 ч. / Бел. нац. техн. унив.; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2010. – Ч. 2. – С. 47–48.
11. Марчук, А.Н. Математическая модель разгона дизельного двигателя при пуске / А.Н. Марчук // Наука – образованию, производству, экономике : материалы 8-ой Международ. науч.-техн. конф., Минск, 20 апр. 2010 г.: в 4 ч. / Бел. нац. техн. унив.; редкол.: Б.М. Хрусталеv [и др.]. – Минск, 2010. – Ч. 2. – С. 50–51.
12. Марчук, А.Н. Улучшение пусковых качеств дизелей с аккумуляторной системой топливоподачи / А.Н. Марчук, // Материалы LXVII научной конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, студентов и работников исследовательских структурных подразделений НТУ, Киев, 11–13 мая 2011 г. / Нац. трансп. унив.; редкол.: М.М. Дмитриев [и др.]. – Киев, 2011. – С. 30.

РЭЗІЮМЭ

Марчук Аляксей Мікалаевіч

Абгрунтаванне параметраў палівападачы ў акумулятарных паліўных сістэмах для паляпшэння пусковых якасцяў дызеляў

Ключавыя словы: дызель, акумулятарныя сістэмы палівападачы, рэжым пуску, параметры палівападачы, «пілотнае» упырскванне.

Мэта работы – паляпшэнне пусковых якасцяў дызеляў пры тэмпературах да $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ без актывацыі сродкаў палягчэння пуску абгрунтаваным вызначэннем параметраў палівападачы ў акумулятарных паліўных сістэмах з электронным кіраваннем.

Для дасягнення пастаўленай у дысертацыі мэты выкарыстоўваліся метады мадэлявання, разліковыя метады і метады аптымізацыі.

У дысертацыі прадстаўлены наступныя вынікі, атрыманыя ўпершыню:

1. Матэматычная мадэль працоўнага працэсу на рэжыме пуску пры двухфазнай палівападачы, адрозная ўлікам пры вылічэнні характарыстыкі цеплавядзялення хуткасці ўпырсквання паліва, зніжэння хуткасці выпарэння паліва пры ўзаемадзейні бруі са сценкай і нераўнамернасці размеркавання паліва ў камеры згарання, магчымых варыянтаў накладання фаз палівападачы і згарання.

2. Вынікі даследаванняў па паляпшэнню працоўнага працэсу і пусковых якасцяў дызеляў ва ўмовах нізкіх тэмператур, якія вызначаюць сувязь пусковых якасцяў дызеляў з параметрамі палівападачы і зыходнымі ўмовамі пуску, атрыманыя на іх аснове, суадносін для вызначэння агульнай цыклавой падачы і цыклавой падачы «пілотнага» ўпырсквання паліва на рэжыме халоднага пуску дызеля.

3. Шматфактарныя рэгрэсійныя залежнасці часу пуску і часу ўспышкі паліва ў цыліндры рухавіка ад параметраў двухфазнай палівападачы і вынікі іх аналізу.

4. Метадычнае забеспячэнне і спецыялізаваная эксперыментальная ўстаноўка для комплекснага даследавання працоўнага працэсу і пусковых якасцяў дызеляў пры розных параметрах двухфазнай палівападачы пры тэмпературах пуску да $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ і адсутнасці сродкаў палягчэння пуску.

5. Метад паляпшэння пусковых якасцяў дызеляў ва ўмовах нізкіх тэмператур без сродкаў палягчэння пуску, які дазваляе вызначаць на стадыі праектавання параметры праграмнага забеспячэння электроннага блока кіравання акумулятарнымі сістэмамі палівападачы.

Рэалізацыя прапанаванага метаду дазволіла абраць рацыянальныя параметры двухфазнай палівападачы, ужыванне якіх ва ўмовах рэальнай эксплуатацыі палепшыла пусковыя якасці серыйна выпускаемых дызеляў.

РЕЗЮМЕ

Марчук Алексей Николаевич

Обоснование параметров топливоподачи в аккумуляторных топливных системах для улучшения пусковых качеств дизелей

Ключевые слова: дизель, аккумуляторные системы топливоподачи, режим пуска, параметры топливоподачи, «пилотное» впрыскивание.

Цель работы – улучшение пусковых качеств дизелей при температурах до $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ без активации средств облегчения пуска обоснованным определением параметров топливоподачи в аккумуляторных топливных системах с электронным управлением.

Для достижения поставленной в диссертации цели использовались методы моделирования, расчетные методы и методы оптимизации.

В диссертации представлены следующие результаты, полученные впервые:

1. Математическая модель рабочего процесса на режиме пуска при двухфазной топливоподаче, отличающаяся учетом при вычислении характеристики тепловыделения скорости впрыскивания топлива, снижения скорости испарения топлива при взаимодействии струи со стенкой и неравномерности распределения топлива в камере сгорания, возможных вариантов наложения фаз топливоподачи и сгорания.

2. Результаты исследований по улучшению рабочего процесса и пусковых качеств дизелей в условиях низких температур, определяющие связь пусковых качеств дизелей с параметрами топливоподачи и исходными условиями пуска, полученные на их основе, соотношения для определения общей цикловой подачи и цикловой подачи «пилотного» впрыскивания топлива на режиме холодного пуска дизеля.

3. Многофакторные регрессионные зависимости времени пуска и времени вспышки топлива в цилиндре двигателя от параметров двухфазной топливоподачи и результаты их анализа.

4. Методическое обеспечение и специализированная экспериментальная установка для комплексного исследования рабочего процесса и пусковых качеств дизелей при различных параметрах двухфазной топливоподачи при температурах пуска до $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и отсутствии средств облегчения пуска.

5. Метод улучшения пусковых качеств дизелей в условиях низких температур без средств облегчения пуска, позволяющий определять на стадии проектирования параметры программного обеспечения электронного блока управления аккумуляторными системами топливоподачи.

Реализация предлагаемого метода позволила выбрать рациональные параметры двухфазной топливоподачи, применение которых в условиях реальной эксплуатации улучшило пусковые качества серийно выпускаемых дизелей.

SUMMARY

Marchuk Aleksey

Justification of fuel injection parameters in the common rail fuel systems to improve start ability characteristics of diesel engines

Keywords: diesel, accumulator fuel injection systems, start-up mode, fuel injection parameters, pilot injection.

Thesis objective – improvement of start ability characteristics of diesel engines at temperatures down to $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ without activating start aid by definition of fuel injection parameters in the Common Rail systems with electronic control.

Simulation techniques, computational methods and optimization methods were used to achieve this objective of the thesis.

The thesis presents the following results for the first time:

1. The mathematical model of the working process at start-up mode with two-phase fuel injection, which is notable for taking into account fuel injection velocity, reduce the rate of evaporation of fuel in the interaction of the jet with the wall and the uneven distribution of fuel in the combustion chamber when calculating the heat release rate characteristics and options for overlapping fuel and combustion phases.

2. The results of research to improve working process characteristics of diesel engines at low temperatures, defining the relationship start ability characteristics with the fuel injection parameters and initial conditions of start-up, derived from them, relations for determining the total injection quantity and injection quantity for a pilot injection at diesel cold start mode.

3. Multivariate regression dependencies of the start time and the flame time in the cylinder on the parameters of a two-phase fuel injection and the results of their analysis.

4. Methodological support and specialized pilot plant for the integrated study of the working process and start ability characteristics of diesel engines for various parameters of the two-phase fuel injection at temperatures down to $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ without cold start aid.

5. Method of improving the diesel cold start ability in cold conditions without cold start aid which allows determining the parameters of engine control unit software of Common Rail system at the design stage.

Implementation of the proposed method allowed to select rational parameters of two-phase fuel injection which use in a real operation improved starting quality of mass-produced diesel engines.

Научное издание

Марчук Алексей Николаевич

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ТОПЛИВОПОДАЧИ
В АККУМУЛЯТОРНЫХ ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМАХ
ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПУСКОВЫХ КАЧЕСТВ ДИЗЕЛЕЙ

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук
по специальности 05.04.02 «Тепловые двигатели»

Подписано в печать 26.09.2011.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 1,28 Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 60. Заказ 946.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский национальный технический университет.
ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.
Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.