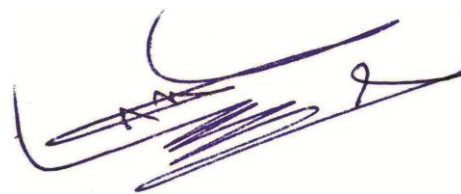


На правах рукописи



Аль-Майди Али Аббас Хашим

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ
ТОПЛИВОПОДАЧИ ГАЗОДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
МОБИЛЬНОЙ ТЕХНИКИ В АПК**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации
сельского хозяйства

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Мичуринск-наукоград РФ, 2020

Работа выполнена на кафедре «Механика и инженерная графика»
в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении
высшего образования «Тамбовский государственный технический университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Родионов Юрий Викторович

Официальные оппоненты: **Савельев Геннадий Степанович**,
доктор технических наук, профессор,
ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный
центр ВИМ», лаборатория двигателей
и технологий использования альтернативных
топлив, заведующий

Жолобов Лев Алексеевич, кандидат технических
наук, профессор, ФГБОУ ВО «Нижегородская
государственная сельскохозяйственная академия»,
кафедра «Эксплуатация мобильных энергетических
средств и сельскохозяйственных машин»,
профессор

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный
университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»

Защита диссертации состоится 24 апреля 2020 г. в 12-00 часов на заседа-
нии объединенного диссертационного совета Д 999.179.03, созданного на базе
ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», ФГБОУ
ВО «Тамбовский государственный технический университет», ФГБНУ «Всерос-
сийский научно-исследовательский институт использования техники и нефте-
продуктов в сельском хозяйстве» по адресу: 393760, Тамбовская обл., г. Мичу-
ринск, ул. Интернациональная 101, корпус 1, зал заседаний диссертационных со-
ветов, тел./факс (47545) 9-44-12, e-mail: dissov@mgau.ru.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке
ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ и на сайте университета: <http://www.mgau.ru/>, а
также на официальном сайте ВАК Министерства науки и высшего образования
РФ: <http://www.vak.ed.gov.ru/>.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью органи-
зации, с указанием индекса, почтового адреса, телефона, электронной почты и
сайта организации, фамилии, имени, отчества лица, подготовившего отзыв,
просим направлять ученому секретарю диссертационного совета.

Автореферат разослан « » _____ 2020 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Н.В. Михеев

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Использование в качестве моторного топлива дизельных топлив и бензина влечет за собой ряд проблем, одной из которых является то, что нефть относится к невозобновляемым источникам энергии и ее интенсивная добыча может привести к недостатку такого вида топлив.

Другая немаловажная проблема – экологическое воздействие сельскохозяйственной техники на природную среду. Одной из самых важных причин загрязнения воздуха являются отработавшие газы двигателей внутреннего сгорания. Вредные выбросы транспорта в атмосферу по России составляют 42% от их суммарного количества.

Большое значение имеет экономическая проблема. Транспортные затраты в себестоимости сельскохозяйственной продукции составляют в среднем 20%. Следовательно, при повышении стоимости бензина, дизельного топлива увеличивается и цена конечной продукции. В связи с этим приоритетным направлением в большинстве стран является переход на более экономичный вид топлива.

Обеспечить существенную экономию топлива и сократить токсичность выбросов отработавших газов, сохраняя паспортную мощность двигателя, надежность и долговечность возможно при переоборудовании дизельного ДВС на работу по газодизельному циклу. Анализ существующих систем подачи топлива газодизельных двигателей показывает, что возможно осуществлять качественное регулирование топливоподачи, но обеспечение качественной подачи топлива на всех режимах работы двигателя и в различных климатических условиях вызывает ряд проблем. Поэтому разработаны различные схемы и технологии их решения, но единого мнения по применению общей универсальной схемы подачи топлива на двигателях, работающих по газодизельному циклу, отсутствует.

Для снижения себестоимости сельскохозяйственной продукции и уменьшения воздействия выхлопных газов ведутся работы по исследованию и разработке альтернативных видов топлива.

Применение топлив в двигателях внутреннего сгорания (ДВС) вместо нефтесодержащих альтернативных источников позволяет получить более широкую сырьевую базу для получения моторных топлив, способствует более простому снабжению топливом двигателей стационарных установок и мобильной техники. Предоставляется возможность производства топлив с необходимыми физико-химическими свойствами и требуемыми параметрами, что, в свою очередь, позволяет улучшать экологические и экономические показатели двигателей. Поэтому совершенствование систем топливоподачи двигателей мобильной техники является актуальной задачей для народного хозяйства страны.

Степень разработанности темы. Разработке и исследованию систем топливоподачи дизельных двигателей, работающих по газодизельному циклу, посвящены работы ряда отечественных и зарубежных ученых, таких как Савельев Г.С., Лиханов В.А., Лукшо В.А., Желобов Л.А., Генкин К.И, Бебенин Е.В. Коллеров Л.К., Васильев Ю.Н., Ксенофонтов С.И., Равкинд А.А., Долганов К.Е., Капустин А.А., Varde, K. S., Liu. Z., Tanaka, Karim, G. A. и др.

Имеющиеся экспериментальные данные об оптимальной температуре подачи различных топлив вызывают ряд разногласий, которые возникают из-за

отсутствия детализованного описания процессов теплообмена в системах топливоподачи газодизелей. Поэтому необходимо детально изучить процессы теплообмена, протекающие при подаче топлива в газодизельном двигателе.

Цель исследований. Улучшение эксплуатационных показателей газодизельных двигателей мобильной техники в АПК за счет совершенствования системы топливоподачи.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

- провести анализ существующих систем топливоподачи газодизельных двигателей;
- разработать и обосновать конструктивную схему топливоподачи двигателей, работающих по газодизельному циклу;
- разработать математическую модель описания процесса терморегулирования, протекающего в системе топливоподачи газодизельного двигателя;
- провести экспериментальные исследования и определить зависимости показателей эффективности работы системы топливоподачи газодизелей;
- провести технико-экономическую оценку эффективности применения разработанной системы топливоподачи газодизельных двигателей мобильной техники в АПК.

Объект исследований: процесс терморегулирования в системе топливоподачи газодизеля, и сама система.

Предмет исследований: закономерности изменения эксплуатационных показателей работы газодизельных ДВС от температуры компонентов топлива в системе подачи.

Научная новизна диссертационного исследования:

- конструктивная схема топливоподачи двигателя, работающего по газодизельному циклу;
- математическая модель процесса терморегулирования, протекающего в системе топливоподачи газодизеля;
- зависимости, полученные при проведении экспериментальных исследований.

Теоретическая значимость. В результате диссертационного исследования были получены:

- оптимальные параметры терморегулятора экспериментальной системы топливоподачи ДВС, работающих по газодизельному циклу;
- математическая модель процесса терморегулирования, протекающего в системе топливоподачи газодизеля;
- получены эмпирические модели, устанавливающие зависимость экономических и экологических параметров от мощности двигателя.

Практическая значимость. Разработанная система топливоподачи двигателей, работающих по газодизельному циклу, применяется на мобильной технике в ЗАО «Агрофирма «Свобода», ООО «АгроМашТамбов», ООО «Агропрофиль», а также система и полученные при исследовании зависимости в учебном процессе при изучении систем топливоподачи дизельных двигателей транспортно-технологических машин и комплексов в ФГБОУ ВО «ТГТУ» и ТОГАПОУ «Колледж техники и технологии наземного транспорта им. М.С. Солнцева».

Методология и методы исследования. Теоретические исследования выполнены на основании законов состояния идеальных и реальных газов, а также механики их движения. Экспериментальные исследования проведены с использованием частных и общих методик проведения испытаний дизельных двигателей, применяя современные приборы и оборудование. Обработка результатов проводилась с использованием методики статистической обработки данных.

Основные научные положения диссертации, выносимые на защиту:

- конструктивно-технологическая система топливоподачи газодизельного двигателя;
- математическая модель процесса терморегулирования, протекающего в системе топливоподачи газодизельного двигателя;
- зависимости критериев экономической и экологической эффективности системы топливоподачи от мощности и режимов работы двигателя.

Достоверность результатов подтверждается применением современных методик и оборудования, достаточным количеством проведенных экспериментов, соответствием экспериментальных данных результатам, полученным при теоретическом исследовании, результатами внедрения в производство, совпадением полученных результатов с результатами других авторов, занимающихся по данной тематике.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались, одобрены и опубликованы в открытой печати:

- на научно-технических семинарах Института архитектуры, строительства и транспорта, кафедр «Агроинженерия» и «Механика и инженерная графика» ФГБОУВО «ТГТУ» (2017-2019 гг.);
- на 69-й научно-практической конференции студентов и аспирантов, Мичуринск, 21-23 марта 2017 г.;
- на XVII международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации», Пенза, 15 ноября 2018 г.;
- на национальной научно-практической конференции, «Приоритетные направления развития садоводства (I Потаповские чтения)» посвященной 85-й годовщине со дня рождения Потапова Виктора Александровича, Мичуринск, 2019;
- журналах, рецензируемых Scopus.

Соответствие диссертационной работы паспорту научной специальности.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства», п. 6 – исследование условий функционирования сельскохозяйственных и мелиоративных машин, агрегатов, отдельных рабочих органов и других средств механизации технологических процессов в сельскохозяйственном производстве, в т. ч. с применением альтернативных видов топлив и п. 11 – разработка инженерных методов и технических средств обеспечения экологической безопасности в сельскохозяйственном производстве.

Публикация результатов исследований. По результатам диссертационной работы опубликовано 9 печатных работ, в том числе 3 работы в изданиях, рецензируемых Scopus, 2 работы в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Общий объем публикаций составляет 2,8 п. л., из них автору принадлежит 1,85 п. л.

Структура и объём диссертации. Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Диссертация изложена на 135 страницах машинописного текста, основной текст на 121 странице, содержит 50 рисунков, 18 таблиц, списка используемых источников из 131 наименования, в том числе 10 на иностранных языках.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулирована цель исследования и задачи для ее достижения. Изложены основные научные результаты, полученные автором диссертационного исследования, освещена научная новизна, раскрыта практическая и теоретическая значимость работы, отражены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ существующих способов перевода дизельных двигателей на газомоторное топливо, обоснован наиболее перспективный способ. Проведен анализ современных систем топливоподачи двигателей, работающих по газодизельному циклу, которые требуют доработки.

Анализ систем топливоподачи газодизельных двигателей сельскохозяйственной техники показывает, что поиск путей обеспечения экономичности нефтяных топлив и экологической безопасности сельскохозяйственной техники страны приводит к необходимости применения альтернативных видов топлив, совершенствования конструкции современных двигателей и разработке устройств снижения токсичности отработавших газов двигателей. Поэтому использование компримированного природного газа (КПГ) в качестве моторного топлива приобретает все большую целесообразность.

На основании анализа существующих способов переоборудования двигателей сельскохозяйственной техники на КПГ установлено, что находящуюся в эксплуатации технику оптимально переводить на газодизельный цикл, так как этот способ позволяет перейти к газовой топливной системе без существенных изменений конструктивных параметров ДВС.

Существующие системы питания газодизелей можно разделить на виды:

- электронные с регулированием подачи газа рычажно-механическим путем;
- системы инжекторные: с центральным впрыском газа и с распределенным впрыском.

Анализ существующих способов топливоподачи при газодизельном цикле позволил установить, что наиболее перспективной считается система с распределенной подачей газа, которая также, как и другие не совершенна, так как не обеспечивает регулировку температуры подаваемого газа.

Распределенная подача топлива в двигателях, работающих по газодизельному циклу, недостаточно изучена: исследования в области топливной экономичности и экологичности находятся на первоначальном этапе, поэтому необходимо их дальнейшее изучение.

Во второй главе проведены теоретические исследования процесса топливоподачи в двигателях, работающих по газодизельному циклу. Уточнены факторы, влияющие на расход топлива, как дизельного, так и сжатого метана.

На основании исследований предложена конструктивная схема системы топливоподачи газодизеля и разработана математическая модель процессов, протекающих в системе топливоподачи.

Согласно объединенному газовому закону, определенное соотношение между давлением, объемом газа и его термодинамической температурой – величина постоянная:

$$\frac{p \cdot V}{T} = const, \quad (1)$$

где p – давление газа, Па;

V – объем газа, м³;

T – абсолютная или термодинамическая температура, К.

Из выражения (1) следует, что изменение одного из параметров приводит к соответствующему изменению других.

На кафедре «Механика и Инженерная графика» ФГБОУ ВО «Гамбовский государственный университет» совместно с Военным учебно-научным центром «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» г. Воронежа, предложена система топливоподачи двигателя, работающего по газодизельному циклу (рисунок 1).

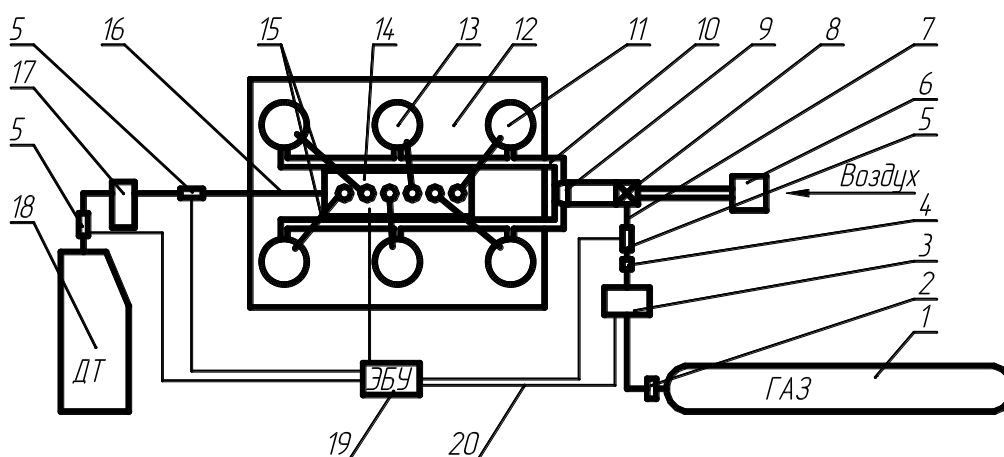


Рисунок 1. Экспериментальная система топливоподачи газодизеля:

- 1 – газовый баллон; 2 – запорный вентиль; 3 – газовый редуктор; 4 – дозатор газа;
- 5 – терморегулятор; 6 – турбокомпрессор; 7 – газопровод; 8 – смеситель;
- 9 – дозатор газозвушной смеси; 10 – впускной трубопровод; 11, 13 – цилиндры двигателя;
- 12 – двигатель; 14 – топливный насос высокого давления (ТНВД);
- 15 – топливопроводы высокого давления; 16 – топливопровод низкого давления;
- 17 – топливный фильтр тонкой очистки; 18 – бак с дизельным топливом;
- 19 – электронный блок управления (ЭБУ); 20 – информационная магистраль

Терморегулирование производится за счёт энергии от штатной системы электропитания дизельного двигателя, что налагает ряд ограничений на потребляемую мощность. С целью повышения энергетической эффективности терморегулирования система управления термоэлектрических модулей включает в себя программируемый логический контроллер, который в зависимости от температуры и давления окружающей среды формирует сигнал на терморегулятор.

На рисунке 2 представлена схема работы терморегулятора системы топливоподачи двигателя, работающего по газодизельному циклу.

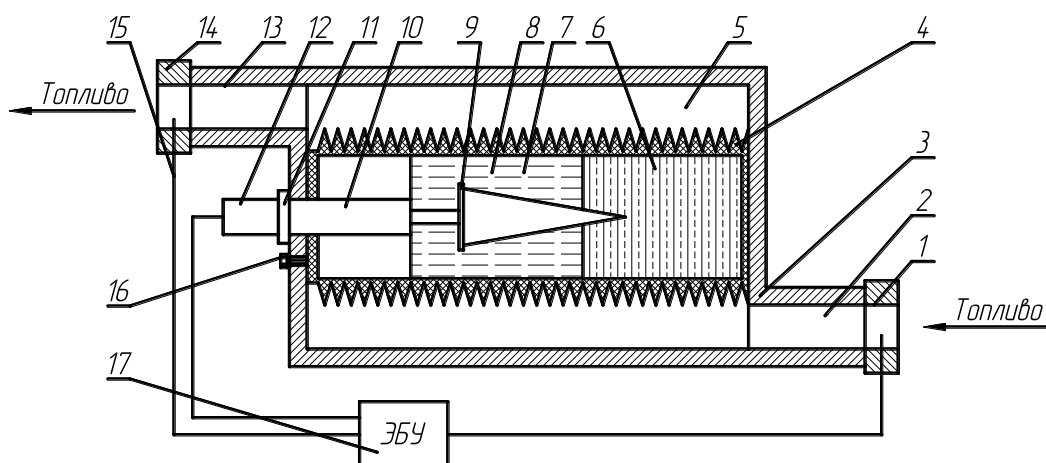


Рисунок 2. Терморегулятор топлива:

- 1 – датчик температуры топлива на входе; 2 – штуцер входной; 3 – теплоизолятор;
 4 – корпус терморегулятора; 5 – полость для топлива; 6 – электропроводящий слой;
 7 – слой с теплоаккумулирующим диэлектрическим материалом; 8 – электрод; 9 – шайба;
 10 – шток; 11 – соленоид; 12 – реле управления; 13 – штуцер выходной;
 14 – датчик температуры топлива на выходе; 15 – информационная магистраль;
 16 – заземление; 17 – электронный блок управления

Терморегулятор топлива содержит оребренный корпус 4, в котором помещен электропроводящий слой 6 (углеродный наноматериал, смешанный с парафином), слой с теплоаккумулирующим диэлектрическим материалом 7, электрод 8, выполненный в виде конуса, основание которого закреплено на штоке 10 через шайбу 9, выполненную из диэлектрика. Корпус 4 имеет полость 5 со штуцером подвода среды 2 и штуцером отвода среды 13. Электропитание в нагреватель подается через соленоид 11 от аккумуляторной батареи через реле управления 12.

Терморегулятор работает следующим образом. Датчик 1 замеряет температуру входящего топлива и отправляет сигнал на ЭБУ. Если температура недостаточная, то ЭБУ подает сигнал на реле управления 12, которое подает электрическое напряжение на соленоид 11 напряжение на изолированный электрод 8 подается по штоку 9. Электрический ток протекает в объеме между электродом 9 и электропроводящим слоем 6 на корпус 4 с заземлением 16, в результате чего происходит объемное тепловыделение. Тепло передается в окружающую среду через оребрение стенки корпуса 4. Тепло отводится из электротеплоаккумулирующего нагревателя путем подачи топлива через штуцеры подвода и отвода среды 2 и 13 в полость между корпусом 4 и теплоизолятором 3. При достижении температуры фазового перехода в электропроводящем слое 6 и в слое с теплоаккумулирующим диэлектрическим материалом 7 происходит увеличение объемов, что сопровождается подъемом штока 10 и перемещением электрода 8 за пределы непроницаемой прослойки в диэлектрические слои 7, что приводит к размыканию питающей цепи.

На выходе из терморегулятора установлен датчик 14, замеряющий температуру подогретого воздуха и отправляющий сигнал на ЭБУ, которое подает сигнал на реле управления 12, которое в свою очередь размыкает цепь.

Тепловой баланс в устройстве терморегулирования для слоёв ЭТН-охладитель и термоаккумулятор имеет вид:

$$(Q_{1э} + Q_{2э}) + (Q_{1а} + Q_{2а}) - Q_{мон} - Q_{ном} = 0, \quad (1)$$

где $Q_{1э}, Q_{2э}$ – термическая энергия, полученная путем преобразования электрической энергии, Дж;

$Q_{1а}, Q_{2а}$ – энергия, запасённая в периоды наименьшей нагрузки двигателя, Дж;

$Q_{ном}$ – тепловые потери устройства терморегулирования, Дж;

$Q_{мон}$ – термическая энергия, которую необходимо сообщить топливу для доведения его до задаваемой температуры, Дж.

На основе схемы тепловых потоков и особенностей устройства для терморегулирования топлива построена система дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \rho_1 C_1 (h_1 F_1) \frac{dT_1}{d\tau} &= \tau P(T_2) - \alpha_{1-2} F_1 (T_1 - T_2) \\ (\rho_{20} - N(T_2 - 20)) C_T \frac{dT_2}{d\tau} &= \frac{\tau (\alpha_{1-2} F_1 (T_1 - T_2) - \alpha_{2-3} F_2 (T_2 - T_3))}{D_T} \\ \rho_F c_F (\pi \cdot r^2 \cdot h_F) \frac{dT_3}{d\tau} &= \alpha_{2-3} F_2 (T_2 - T_3) - K \cdot F_3 (T_3 - T_4) \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где T_1, T_2, T_3, T_4 – начальные условия – температуры топлив, К;

D_T, F_1, F_2, F_3 – параметры варьирования.

Расход КПГ варьировался согласно пуску, холостому ходу и работе двигателя под нагрузкой: 8; 10 и 25 л/ч. Площадь теплоотдающей поверхности терморегулятора изменялась от 0,03 до 0,07 м².

На основе математического моделирования получены рациональные значения энергетических параметров системы терморегулирования (таблица 1).

Таблица 1

Энергетические параметры системы терморегулирования

Максимальная мощность модулей системы терморегулирования, Вт			
Дизельное топливо			Компримированный природный газ
Бак	Перед фильтром	После фильтра	
200	150	200	150
Площадь теплоотдающей поверхности терморегулятора, м²			
0,05	0,055	0,050	0,053

Математическая модель (формула (2)) позволяет производить учёт стадийного изменения температурного состояния топлива на значимых участках топливной магистрали. Модель позволяет контролировать физико-механическое состояние как газового, так и дизельного топлива в линии подачи.

Теоретические расчеты по математической модели показали улучшение энергоэкологических характеристик работы газодизельного двигателя:

- снижение расхода топлива при пуске 17% и в рабочем режиме 13%;
- снижение уровня токсичности отработавших газов 14,5%;
- рациональная мощность терморегулятора для КПГ 150 Вт;
- площадь теплоотдающей поверхности терморегулятора 0,07 м².

Разработанная математическая модель может быть использована для анализа температурных режимов газодизельных двигателей.

В третьей главе представлена программа исследований и описана методика проведения испытаний стендовых и экспериментальных. Описан алгоритм обработки опытных данных, полученных при исследовании.

Стендовые испытания экспериментальной системы топливоподачи, установленной на двигателе ЯМЗ-236НЕ (рисунок 3).

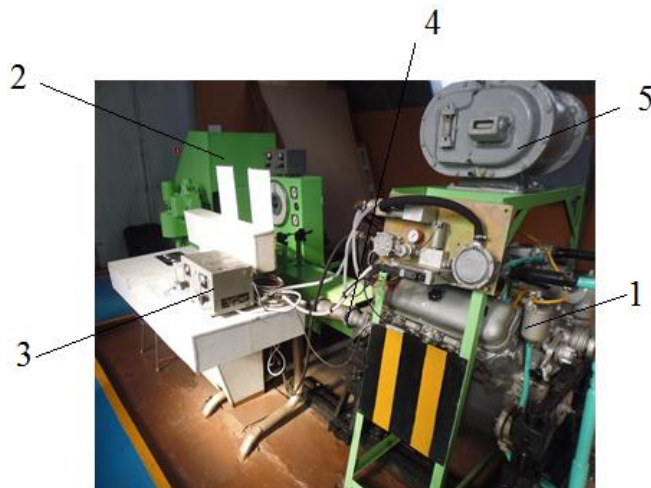


Рисунок 3. Двигатель ЯМЗ-236НЕ, работающий по газодизельному циклу:
1 – двигатель ЯМЗ-236НЕ, работающий по газодизельному циклу;
2 – нагрузочный испытательный стенд; 3 – стол с приборами;
4 – отвод отработавших газов; 5 – газовый редуктор

При использовании инжекторной и эжекторной систем питания общей частью газодизеля является топливная аппаратура для подачи запальной дозы. Запальная доза дизельного топлива до 20% от цикловой подачи обеспечивает воспламенение газа на разных режимах работы двигателя.

Особое внимание при проведении экспериментальных исследований уделялось измерительной аппаратуре для замера расхода воздуха, газа, запального топлива. Стенд оборудован приборами измерения концентраций вредных компонентов отработавших газов CO, NO_x и СН для выполнения оптимальной регулировки систем с целью получить лучшую экономичность при минимальной токсичности.

На рисунке 4 представлен испытательный стенд с оборудованием.



Рисунок 4. Испытательный стенд

При испытаниях применялось дизельное топливо марки ДТ-Л-К5, соответствующее нормам Евро-V, газовое топливо (КПГ) соответствует ГОСТ 27577-2000.

Эксперименты проводились для установления зависимостей эксплуатационных показателей ДВС от температуры топлива, а также для определения эффективности разработанной системы топливоподачи с регуляцией температуры топлива и комбинированного устройства снижения токсичности (КУСТ) ОГ в сравнении с базовой системой газодизельного двигателя.

В четвертой главе приведены результаты проведенных исследований в виде графических зависимостей и проведен их анализ. Сделаны общие выводы.

На рисунках 5-8 представлены зависимости эксплуатационных показателей двигателя ЯМЗ-236НЕ с установленной экспериментальной системой топливоподачи.

Анализ рисунка 5 показывает, что при снижении температуры подаваемого топлива происходит уменьшение мощности двигателя в среднем на 4,5%. При температурных режимах 25 и 30 градусов мощность ДВС практически одинакова.

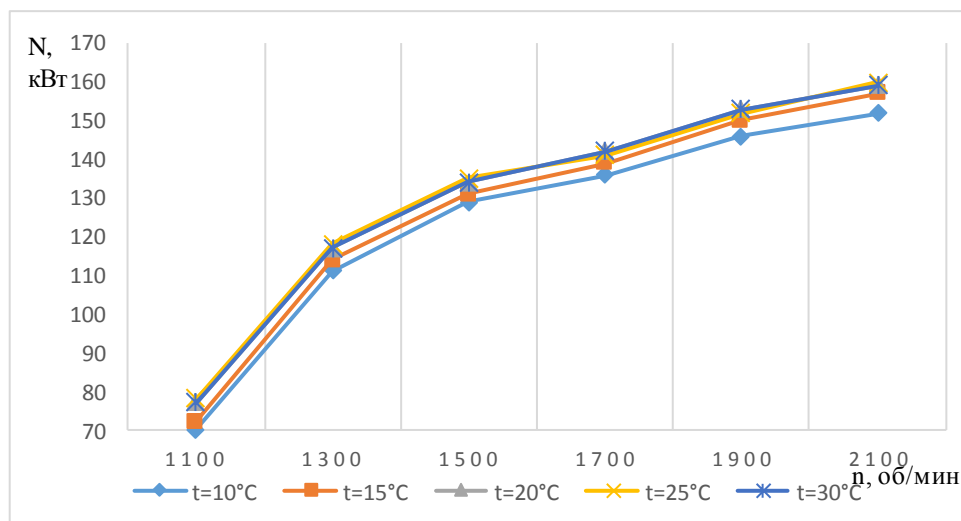


Рисунок 5. Зависимость мощности ДВС от частоты вращения коленчатого вала при различной температуре топлива

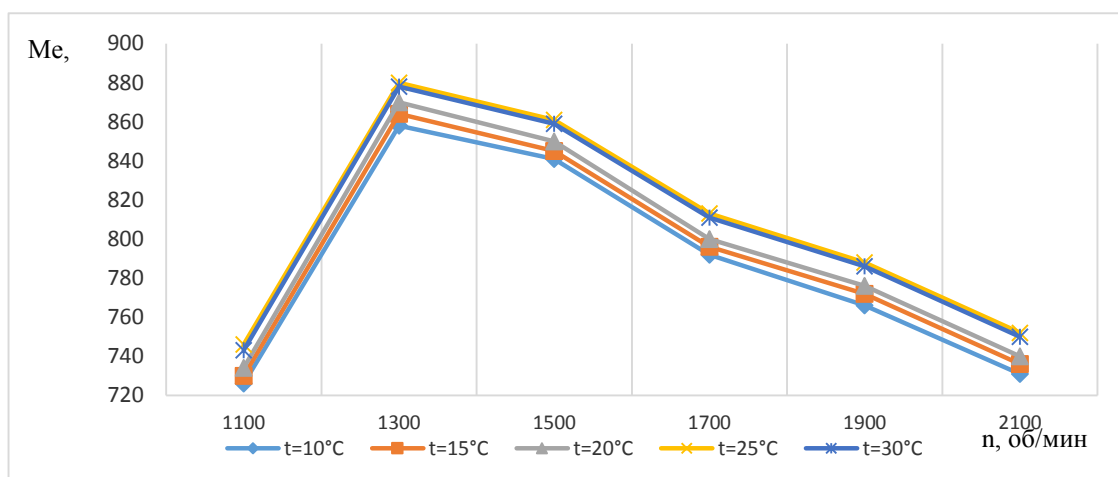


Рисунок 6. Зависимость крутящего момента ДВС от частоты вращения коленчатого вала при различной температуре топлива

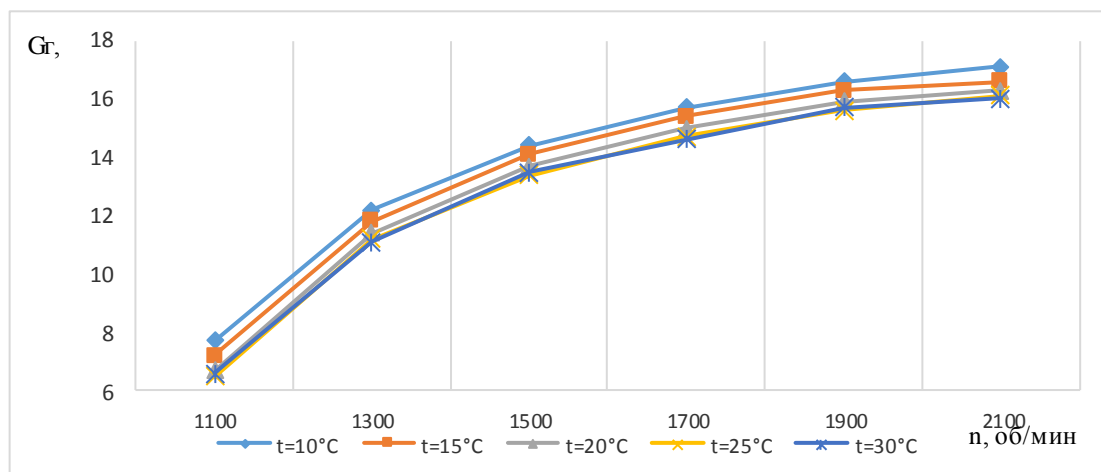


Рисунок 7. Зависимость расхода КПГ от частоты вращения коленчатого вала при различной температуре топлива

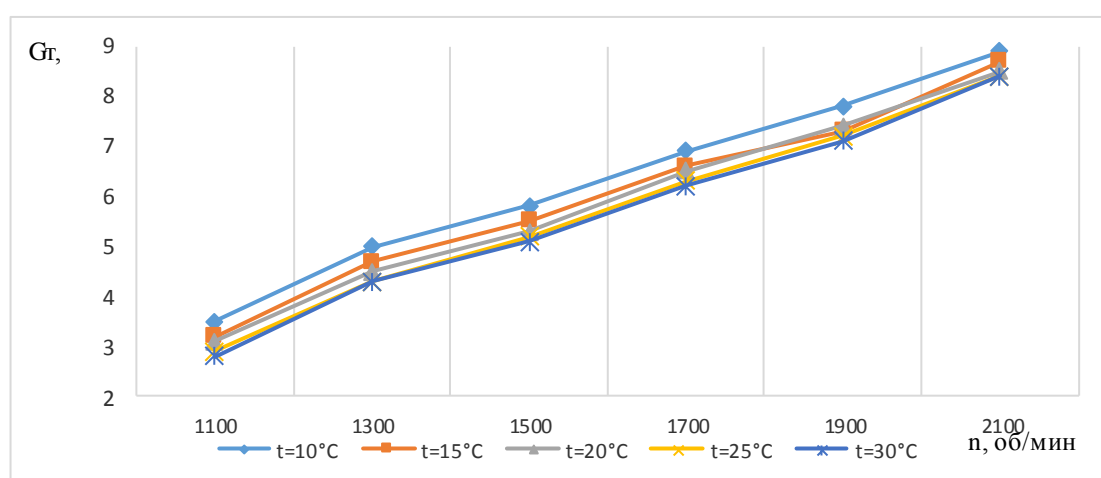


Рисунок 8. Зависимость расхода ДГ от частоты вращения коленчатого вала при различной температуре топлива

По рисунку 6 видно, что при увеличении температуры топлива крутящий момент на коленчатом валу ДВС увеличивается на 3,3% и при температурах 25 и 30 градусов достигает 880 Н·м.

Анализ рисунков 7 и 8 показывает, что увеличение температуры газового и жидкого топлива ведет к снижению расхода соответствующего вида топлива: дизельного – на 6,7%, газа – на 6,4%. Поэтому, а также учитывая, что выбросы ОГ менее токсичны при высокой температуре топлива целесообразно настроить терморегулятор на 25°C.

На рисунках 9-12 представлены полученные зависимости токсичных компонентов от мощности ДВС, при работе по газодизельному циклу.

Анализ изменения концентрации оксида углерода (СО) (рисунок 9) показывает, что с ростом мощности концентрация СО увеличивается с 0,092 г/м³ до 0,303 г/м³ за счёт неполноты сгорания топлива и снижения продолжительности процесса.

После обработки экспериментальных данных получены уравнения:

– без регулятора $C_{CO}(N) = 0,079 + 7,986 \cdot 10^{-4} \cdot x + 4,529 \cdot 10^{-6} \cdot x^2$;

– с регулятором $C_{CO}^P(N) = 0,083 + 1,209 \cdot 10^{-4} \cdot x + 1,246 \cdot 10^{-6} \cdot x^2$.

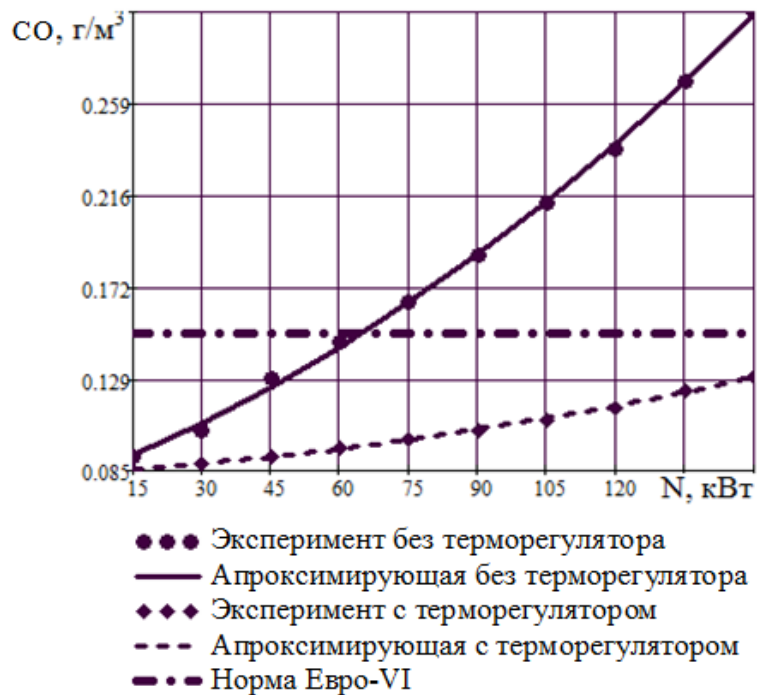


Рисунок 9. Зависимость концентрации CO в ОГ от используемой мощности двигателя

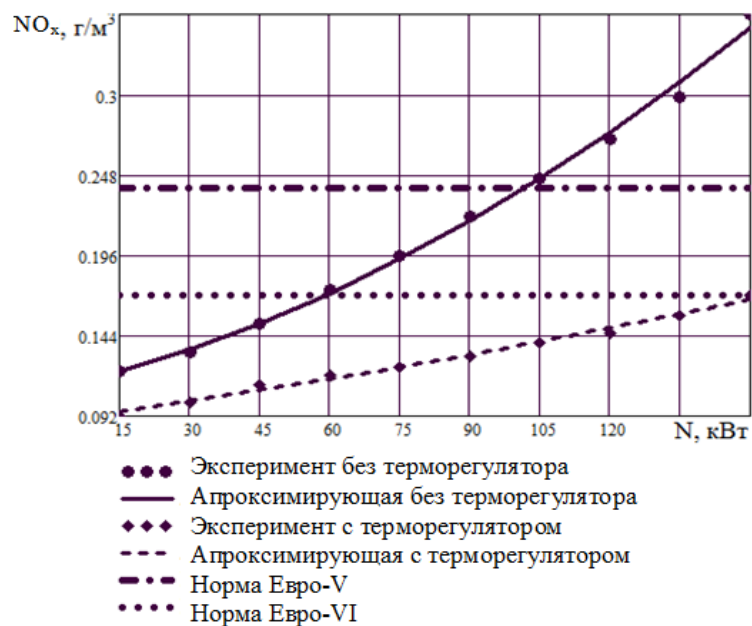


Рисунок 10. Зависимость концентрации NO_x в ОГ от используемой мощности двигателя

Анализ изменения концентрации оксидов азота (рисунок 10) показывает, что с ростом нагрузки на ДВС их концентрация возрастает практически линейно и имеет наибольшее значение при максимальной нагрузке, причём на режимах высокой нагрузки концентрация NO_x увеличивается более резко. Это связано с тем, что с увеличением мощности ДВС и уменьшении коэффициента избытка воздуха происходит недожог топлива, что способствует образованию оксидов азота.

Уравнения регрессии имеют вид:

– без регулятора $C_{NO_x}(N) = 0,11 + 6,75 \cdot 10^{-4} \cdot x + 5,875 \cdot 10^{-6} \cdot x^2$;

– с регулятором $C_{NO_x}^P(N) = 0,088 + 4,307 \cdot 10^{-4} \cdot x + 6,566 \cdot 10^{-7} \cdot x^2$.

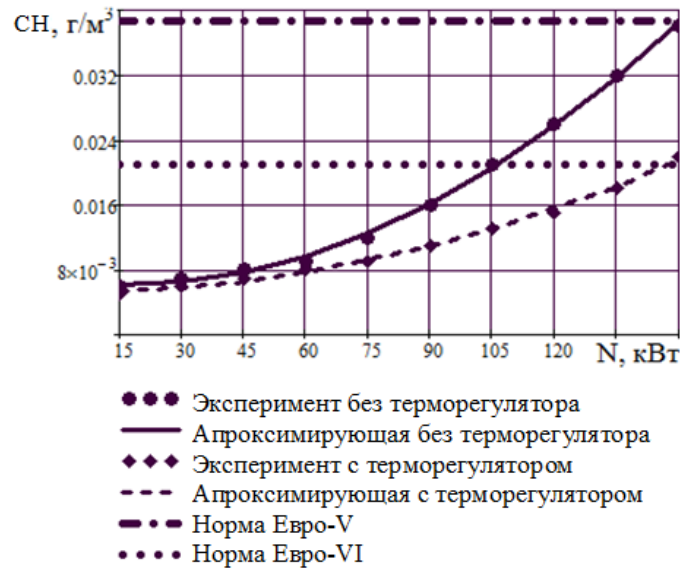


Рисунок 11. Зависимость концентрации углеводородов в ОГ от используемой мощности двигателя

Из рисунка 11 видно, что концентрация углеводородов в ОГ при повышении нагрузки на двигатель возрастает от $0,006 \text{ г/м}^3$ до $0,038 \text{ г/м}^3$, то есть выбросы СН на максимальной мощности в шесть раз больше, чем на минимальной нагрузке. Такой характер зависимости объясняется увеличением расхода топлива, и, соответственно, повышением количества углеводородов, выделяющихся при сгорании топлива в камере сгорания.

Уравнения регрессии имеют вид:

– без регулятора $C_{CH}(N) = 6,567 \cdot 10^{-3} - 5,485 \cdot 10^{-5} \cdot x + 1,785 \cdot 10^{-6} \cdot x^2$;

– с регулятором $C_{CH}^P(N) = 5,35 \cdot 10^{-3} - 6,212 \cdot 10^{-6} \cdot x + 7,576 \cdot 10^{-7} \cdot x^2$.

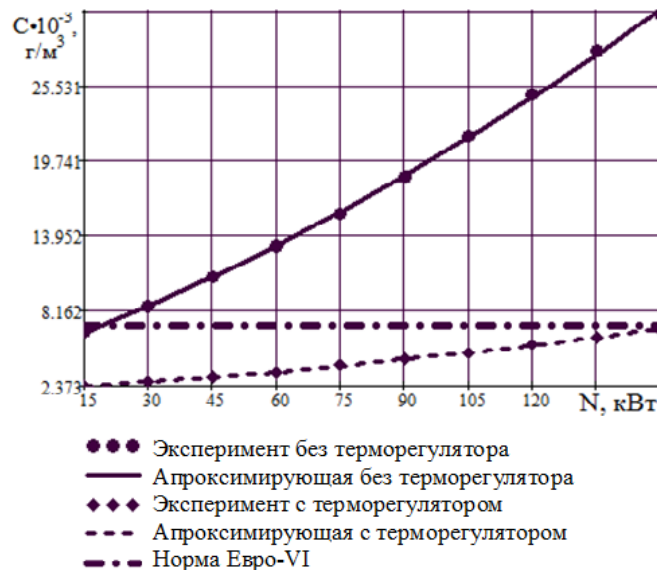


Рисунок 12. Зависимость концентрации сажи в ОГ от мощности ДВС

Анализ зависимости (рисунок 12) показывает, что с увеличением нагрузки на ДВС концентрация сажи в ОГ возрастает практически линейно. Это связано с недогоранием топлива в камере сгорания. Концентрация сажи увеличи-

вается с 0,007 до 0,031 г/м³ (в 4,5 раза) без устройства очистки и с 0,002 до 0,007 (в 3,5 раза) с терморегулятором и КУСТ.

Уравнения концентрации сажи от нагрузки ДВС имеют вид:

– без регулятора $C_c(N) = 4,587 \cdot 10^{-3} + 1,196 \cdot 10^{-4} \cdot x + 3,906 \cdot 10^{-7} \cdot x^2$;

– с регулятором $C_c^p(N) = 2,1 \cdot 10^{-3} + 1,677 \cdot 10^{-5} \cdot x + 9,428 \cdot 10^{-8} \cdot x^2$.

В таблице 2 представлено сравнение содержания токсичных веществ в ОГ двигателя ЯМЗ-236НЕ, полученных при испытаниях, с нормами.

Таблица 2

Сравнение содержания токсичных компонентов в ОГ газодизеля с нормативными

Токсичный компонент	Нормативы				ДВС ЯМЗ-236НЕ	
	Евро-III	Евро-IV	Евро-V	Евро-VI	Без регулятора и КУСТ	С регулятором и КУСТ
СО, г/кВт·ч	2,10	1,50	1,50	1,5	3,71	1,48
СН, г/кВт·ч	0,66	0,46	0,26	0,26	0,46	0,25
NO _x , г/кВт·ч	5,00	3,50	2,00	0,4	4,31	1,94
С, г/кВт·ч	0,127	0,08	0,08	0,08	0,38	0,076

Анализируя таблицу 2 можно сделать вывод, что применение разработанной системы топливоподачи газодизельного ДВС с нейтрализатором ОГ позволяет выполнять нормы Евро-VI по всем токсичным компонентам. Средняя степень очистки ОГ от вредных веществ составляет: по СО – 60%, по СН – 45%, по NO_x – 55% и по саже – 80%.

Сравнения расчетных данных и результатов экспериментов, выполненные для внешней скоростной характеристики, показывает удовлетворительное их совпадение (рисунок 13).

Анализ рисунка 13 показывает, что наблюдаются наибольшие различия расхода воздуха и топлива, что связано с неточностями задания газодинамических сопротивлений впускных и выпускных трактов, которые надо уточнить по данным статической продувки.

Расчетные данные отличаются от результатов экспериментальных исследований в среднем на 3,5 %, что подтверждает достоверность теоретических расчетов.

На основании проведенных экспериментальных исследований для двигателя ЯМЗ-236НЕ с экспериментальной системой топливоподачи выбраны значения параметров терморегулятора: оптимальная мощность – 150 Вт; рациональная площадь теплоотдающей поверхности 0,053 м²:

– диаметр – 0,118 м;

– высота регулятора – 0,144 м;

и диаметр штока терморегулятора – 0,008 м.

Экспериментальные исследования на стенде газодизельного двигателя ЯМЗ-236НЕ с опытной системой топливоподачи позволили установить, что:

– газ замещает до 85% дизельного топлива на нагрузочных режимах при сохранении параметров базового дизеля по частоте вращения и крутящему моменту;

– оптимальная мощность регулятора и эксплуатационные показатели ДВС при температуре 25°С;

- часовой расход газового топлива снизился на 13%;
- токсичность отработавших газов двигателя снизилась на 14,5% и с устройством очистки ОГ отвечает нормам Евро-VI.

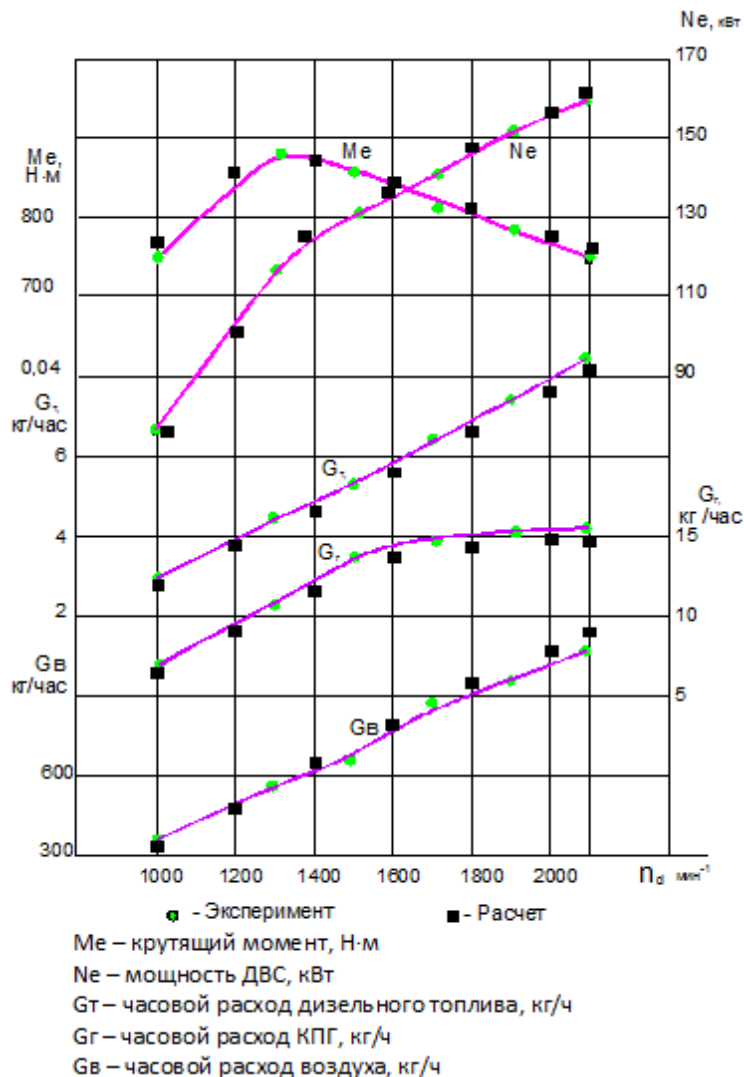


Рисунок 13. Сравнение по внешней характеристике экспериментальных и расчетных параметров

Проведенные экспериментальные исследования позволили установить, что при переоборудовании дизельного двигателя в газодизель сохраняются его энергетические показатели, а также повышаются экономические показатели при снижении токсичности вредных компонентов отработавших газов.

При проведении эксплуатационных испытаний была показана высокая работоспособность и надёжность конструкции системы топливоподачи в условиях эксплуатации.

В пятой главе приведена технико-экономическая оценка разработанной конструктивной схемы системы топливоподачи газодизельного двигателя на примере сельскохозяйственного предприятия и обоснована целесообразность ее применения.

Расчет проводился в следующей последовательности: установлены затраты на приобретение и установку системы топливоподачи компримированного

природного газа; определена сумма экономии по статье затрат «Топливо»; определен годовой экономический эффект использования системы топливоподачи газодизеля для конкретного парка сельскохозяйственных машин; определен срок окупаемости.

Расчет эффективности использования системы топливоподачи газодизельных двигателей, используемых на сельскохозяйственной технике, позволил установить, что дополнительные расходы на модернизацию системы топливоподачи газодизеля с оптимизированными параметрами составили 34147 руб. для конкретного машинно-тракторного парка сельскохозяйственной организации (12 тракторов). Снижение затрат на топливо при эксплуатации тракторов, оснащенных разработанной системой подачи топлива, составило 63000 руб., при этом годовой экономический эффект составил 28853 руб.

Срок окупаемости оснащения и модернизации системы топливоподачи газодизеля, имеющую оптимизированные параметры, составил 0,54 года, что позволяет сделать вывод о целесообразности использования такой системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ существующих способов подачи топлива в газодизельных двигателях, применяемых на мобильной технике АПК, позволил установить, что оптимальным способом является эжекторная система с распределенным впрыском.

2. Обоснована конструкция системы топливоподачи газодизельного двигателя, позволяющая поддерживать оптимальную температуру как жидкого, так и газообразного топлива.

3. В результате теоретических исследований системы топливоподачи получена математическая модель описания процессов, протекающих в ней. Расчет по модели показал, что при установке системе топливоподачи с терморегулятором топлива его рациональная мощность составила 150 Вт, а площадь теплоотдающей поверхности 0,053 м², при этом расход топлива снизился на 3,75 кг/ч, а суммарные токсичные выбросы уменьшились на 5,1 г/кВт·ч и составили 30 г/кВт·ч.

4. При испытаниях установлены оптимальные конструктивные параметры терморегулятора:

– диаметр теплоотдающей поверхности (регулятора) – 0,118 м;

– высота регулятора – 0,144 м;

и диаметр штока терморегулятора – 0,008 м.

Экспериментальные испытания системы топливоподачи подтвердили результаты теоретических исследований для газодизельных двигателей, устанавливаемых на сельскохозяйственной технике: результаты отличаются на 3,5%. Улучшены эксплуатационные показатели ДВС: $M_e=880\text{Н}\cdot\text{м}$ при 1300 мин^{-1} , при этом расход газового топлива снизился на 13%, а токсичность отработавших газов снизилась на 14,5%, что отвечает нормам Евро-VI. Расчетные максимальные давления и температура цикла в газодизельном двигателе ЯМЗ-236НЕ с экспериментальной системой топливоподачи не превышают их значения в базовом двигателе и составляют $P_{\text{max}}=10,7\text{ МПа}$, $T_{\text{max}}=1864\text{ К}$.

5. Снижение затрат на топливо при эксплуатации автотракторной техники, оснащенной системой топливоподачи газом, составило 63000 руб., при этом годовой экономический эффект составил 28853 руб. Срок окупаемости оснащения и модернизации системы топливоподачи газодизеля, имеющей терморегулятор, составил 0,54 года. Годовой экономический эффект установки системы топливоподачи на одном тракторе показывает, что применение системы на газодизелях экономически целесообразно.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ И ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕГО РАЗВИТИЯ

Разработанная система топливоподачи газодизельных двигателей мощностью 150-400 кВт рекомендуется использовать на мобильной технике АПК при температуре топлива 25°C, установленной на терморегуляторе.

В перспективе дальнейшее исследование системы топливоподачи газодизеля при более высоких температурах, разработка программы регулирования температуры топлива для двигателей большей мощности, применение на стационарной технике.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации, индексируемые в базах Scopus, Web of Science:

1. Al-Maidi, A. A.H. Mathematical modeling of thermo-regulation of fuel in diesel engines YAMZ-238 / A. A.H. Al-Maidi, A.V. Shchegolkov, D.V. Nikitin, D.A. Chernetsov, N.V. Mikheev // Iraqi Journal of Agricultural Sciences – 2018:49(4), pp. 670-676.

2. Al-Maidi, A. A.H. Analysis of the characteristics of natural gas as fuel for vehicles and agricultural tractors / A. A.H. Al-Maidi, D.A. Chernetsov, Y.V. Rodionov, E.S. Vdovina, D.V. Nikitin, N.V. Mikheev // Plant archives (international journal of plant research) vol. 19 no.1 april, 2019.

3. Al-Maidi, A. A.H. Study of a combined device to reduce the toxicity of exhaust gases of diesel engines, agricultural technology / A. A.H. Al-Maidi, D.A. Chernetsov, E.S. Vdovina // Iraqi Journal of Agricultural Sciences – 2019:50(5), pp. 1259-1268.

В изданиях из перечня ВАК Министерства образования и науки РФ:

4. Аль-Майди, А.А.Х. Перспективы переоборудования сельскохозяйственных дизельных машин на газомоторное топливо / А.А.Х. Аль-Майди, Д.А. Чернецов, Ю.В. Родионов, П.И. Селиванова // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского №4(66) / 2017, Тамбов. – С. 200-206.

5. Аль-Майди, А.А.Х. Оптимальная конструкция и особенности системы топливоподачи для двигателей, работающих на компримированном газе // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии, 2017 – С. 1659 -1661.

Работы, не индексируемые в базе РИНЦ:

6. Аль-Майди, А.А.Х. Обоснование необходимости исследования параметров работы двигателей, установленных на сельскохозяйственной технике, работающих на сжатом газе // 69-я научно-практическая конференция студентов и аспирантов, Мичуринск, 21-23 марта 2017 г. – С. 20-23.

7. Аль-Майди, А.А.Х. Анализ теоретических исследований процессов, протекающих при сгорании сжатого газа // Сборник статей XVII Международной научно-практической конференции. в 2 частях, Пенза, 2018. – С. 102-104.

8. Аль-Майди, А.А.Х. Экологическое преимущество использования газодизельных двигателей в садоводстве / А.А.Х. Аль-Майди, Д.А. Чернецов, Ю.В. Родионов, Н.В. Михеев // Приоритетные направления развития садоводства (I Потаповские чтения) Материалы Национальной научно-практической конференции, посвященной 85-й годовщине со дня рождения профессора, доктора сельскохозяйственных наук, лауреата Государственной премии Потапова Виктора Александровича. отв. ред. Григорьева Л.В. Мичуринск, 2019. – С. 77-80.

9. Аль-Майди, А.А.Х. Анализ результатов исследования топливной системы двигателя ямз-238, работающего по газодизельному циклу / А.А.Х Аль-Майди, Д.А. Чернецов // «Вопросы современной науки: проблемы, тенденции и перспективы». –М: Научный журнал «Chronos», 2020. – Выпуск 1 (39) – С. 4-11.

Отпечатано в издательско-полиграфическом центре

ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ

Подписано в печать 20.02.2020. Формат 60x84 ¹/₁₆,

Бумага офсетная № 1. Усл.печ.л. 1,1 Тираж 100 экз. Ризограф

Заказ № 20457

Издательско-полиграфический центр

Мичуринского государственного аграрного университета

393760, Тамбовская обл., г. Мичуринск, ул. Интернациональная, 101,

тел. +7 (47545) 9-44-45

