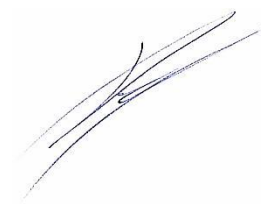


На правах рукописи



Димогло Анатолий Владимирович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ГАЗОДИЗЕЛЬНЫХ
ДВИГАТЕЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ТРАКТОРОВ**

4.3.1. Технологии, машины и оборудование
для агропромышленного комплекса

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Воронеж – 2022

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ).

Научный руководитель: **Козлов Вячеслав Геннадиевич**,
доктор технических наук, доцент.

Официальные оппоненты: **Девянин Сергей Николаевич**,
доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», кафедра тракторов и автомобилей, профессор;
Рыблов Михаил Владимирович,
доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный аграрный университет», кафедра «Технический сервис машин», профессор.

Ведущая организация: **федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» (ФГБНУ ВНИИТиН).**

Защита состоится 26 января 2023 г. в 13 часов 00 минут на заседании диссертационного совета 35.2.008.01, созданного на базе ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 13, учебный корпус агроинженерного факультета (корпус № 3), аудитория 319.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ и на сайте www.vsau.ru («Диссертационные советы» – «Защиты» – «35.2.008.01»), а также по ссылке: <https://ds.vsau.ru/?p=10512>.

Автореферат разослан 02 декабря 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Афоничев Дмитрий Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Постоянное увеличение потребности в дизельном топливе и существенное его подорожание в последние годы приводят к необходимости перевода тракторов и созданных на их базе строительных, дорожных и коммунальных машин, самоходных сельскохозяйственных машин, а также других мобильных и стационарных энергетических установок на альтернативные виды топлива, в первую очередь на сжатый и сжиженный природный газ.

Использование природного компримированного газа в качестве моторного топлива позволит улучшить экологическую обстановку в местах эксплуатации тракторов. В общей массе вредных веществ, загрязняющих окружающую среду, доля выбросов дизельных тракторов относительно невелика и обычно не превышает 4 % суммарных выбросов всех антропогенных источников загрязнения. Однако выбросы тракторов достаточно часто вызывают интенсивные локальные загрязнения, представляющие значительную опасность не только для трактористов, но и для находящихся вблизи людей и животных, а также для растений и почвы.

На современном этапе технического прогресса в сельскохозяйственном производстве энергетическое обеспечение прироста продукции не может быть достигнуто за счет моторных топлив, получаемых из нефти. Альтернативное решение проблемы возможно за счет использования газа в качестве топлива для тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин.

Целесообразность применения газа в качестве топлива для сельскохозяйственных тракторов определяется еще и тем, что он является высококачественным топливом. Октановое число газа составляет 90...110, что позволяет повысить степень сжатия на дизельном двигателе, и в результате обеспечит улучшение показателей его работы.

К преимуществам газа как моторного топлива перед дизельным можно отнести лучшее смесеобразование, отсутствие жидких фракций в смеси, поступающих в цилиндр, и снижение износа двигателя. Большое значение имеет также меньшее содержание вредных для человека химических составляющих в продуктах сгорания.

Диссертационная работа выполнена в рамках научно-исследовательской работы агроинженерного факультета ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ «Инновационные направления совершенствования процессов и технических средств механизации и электрификации сельскохозяйственного производства», п.п. 2 «Инновационные направления совершенствования мобильных энергетических средств», которая утверждена ученым советом университета (номер государственной регистрации 01.200.1-003986).

Степень разработанности темы. Большой вклад в разработку вопросов использования газового топлива в газодизельном рабочем процессе внесли такие научные коллективы Федерального научно агроинженерного центра ВИМ, Научно-исследовательского тракторного института (НАТИ), Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ), Российского государственного аграрного университета – МСХА им. К.А. Тимирязева (Институт механики и энергетики имени В.П. Горячкина) (РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева).

зева), Вятского государственного агротехнологического университета, Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана (МГТУ им. Н.Э. Баумана), Всероссийского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ), Южно-Уральского государственного университета (ЮУрГУ), Ставропольского государственного аграрного университета. В частности, эти вопросы нашли отражение в трудах И.К. Андрончева, А.И. Володина, А.Н. Головаша, А.В. Грищенко, Е.Е. Коссова, В.В. Фурмана, В.А. Маркова, Е.Б. Демченко, В.Н. Игина, Н.Г. Швеца, С.М. Овчаренко, В.А. Четвергова, Е.С. Павловича, В. Д. Кузьмич, В.И. Киселева, В.П. Казанцева, А.З. Хомича, А.М. Евстафьева, Е.И. Сковородникова, А.П. Шайкина, В.В. Кручека, Л.А. Мугинштейна, В.М. Овчинникова, А.Т. Осяева, С.А. Пожидаева, А.Э. Симсона, А.П. Третьякова, Г.А. Фофанова, В.А. Шишкова, Д.Я. Носырева, А.Д. Рослякова, Ю.И. Булыгина, Andreassi L., Dietrich W.R., Golub A. и др.

Выполненное исследование создало предпосылки для дальнейшего совершенствования и повышения эффективности использования газового топлива в газодизельном рабочем процессе с обеспечением сохранения эксплуатационных показателей во всем диапазоне скоростных и нагрузочных режимов путем конвертации тракторного ДВС в газодизель с комбинированным смесеобразованием.

Объект исследования: дизельный двигатель сельскохозяйственного трактора при работе в газодизельном режиме.

Предмет исследования: закономерности изменения характеристик двигателя сельскохозяйственного трактора при газозамещении дизельного топлива.

Цель работы: повышение эффективности использования сельскохозяйственных тракторов путем совершенствования системы питания газодизельного двигателя.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие **задачи:**

- теоретически обосновать состав комбинированной горючей смеси для газодизельного двигателя сельскохозяйственного трактора;
- разработать топливоподающую систему газодизельного двигателя с комбинированным смесеобразованием;
- разработать концептуальную схему компоновки установки и методику испытаний ДВС в газодизельном режиме;
- экспериментально установить закономерности изменения энергетических показателей газодизельного двигателя от параметров состава комбинированной горючей смеси.

Научная новизна. Результатами диссертационной работы, обладающими научной новизной, являются:

- состав комбинированной горючей смеси для газодизельного двигателя сельскохозяйственного трактора, отличающийся минимальным содержанием дизельного топлива при различных режимах работы двигателя;
- топливоподающая система газодизельного двигателя, отличающаяся наличием устройства подачи запальной дозы дизельного топлива;
- концептуальная схема компоновки установки и методика испытаний ДВС в газодизельном режиме, отличающиеся программным управлением формирования комбинированной горючей смеси;

- закономерности изменения энергетических показателей газодизельного двигателя от параметров состава комбинированной горючей смеси.

Теоретическая значимость работы заключается в установлении закономерностей изменения энергетических показателей газодизельного двигателя от параметров состава комбинированной горючей смеси, обосновании оптимальных параметров системы топливоподачи и величины запальной дозы.

Практическую значимость состоит в том, что разработанное устройство подачи запальной дозы обеспечивает полную загрузку трактора, оснащенного газодизельным двигателем, в соответствии с его тяговым классом на энергоемких сельскохозяйственных операциях. Результаты исследований позволяют обеспечить устойчивую работу по дизельному и газодизельному процессам без внесения конструктивных изменений в дизельный двигатель и могут быть использованы при проектировании систем питания газодизельных двигателей на заводах-изготовителях, а также на производственных предприятиях, занимающихся переводом работы автомобильных и тракторных дизельных двигателей на природный газ.

Методология и методы исследования. Теоретическое исследование произведено на основе методов математического моделирования, термодинамики, теории управления. Лабораторный эксперимент поставлен на основе апробированных методик, для его проведения разработаны программно-управляемая установка и оригинальная методика. Измерения проводили сертифицированными и поверенными приборами. При проведении расчетов и обработке результатов эксперимента использовали современные компьютеры и применяли лицензированное программное обеспечение.

Положения, выносимые на защиту:

- состав комбинированной горючей смеси для газодизельного двигателя сельскохозяйственного трактора, позволяющий снизить расход дизельного топлива;
- топливоподающая система газодизельного двигателя, позволяющая обеспечить полную загрузку трактора в соответствии с его тяговым классом на энергоемких сельскохозяйственных операциях;
- концептуальная схема компоновки установки и методика испытаний ДВС в газодизельном режиме;
- закономерности изменения энергетических показателей газодизельного двигателя от параметров состава комбинированной горючей смеси, позволяющие регулировать соотношение газа и дизельного топлива.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность результатов обеспечена использованием методов математической статистики при планировании эксперимента и обработке результатов. Достоверность научных положений работы подтверждена сравнением результатов моделирования и экспериментальных исследований. Исследования в реальных эксплуатационных условиях проводились для газодизеля модели СМД-18Н производства ЗАО «Белгородский моторный завод».

Результаты работы обсуждались на международных и национальных научно-практических конференциях: 2-й международной научно-практической конференции «Региональные особенности развития машино- и приборостроения, информационных технологий, проблемы и опыт подготовки кадров», Тирасполь, 2004;

conferinta internationala «Energetica Moldovei - 2005», Chisnau, 2005; научно-практической конференции «Задачи высшей школы по подготовке специалистов в условиях реформирования аграрно-промышленного комплекса», Тирасполь, 2008; республиканской научно-практической конференции «История и этапы развития учебной организации по подготовке кадров производственного назначения», Бендеры, 2009; международной научно-практической конференции «Экологическое образование и охрана окружающей среды», Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014; международной научно-практической конференции «Закономерности взаимодействия технических устройств и человека в технических и антропогенно-измененных системах», Брянск, 2016; научно-практической конференции «Аграрная наука и образование – основа успешного развития АПК Приднестровья», Тирасполь, 2017; the international scientific symposium “Achievements and perspectives in agricultural engineering and auto transport” dedicated to the 85 th anniversary of the State Agrarian University of Moldova, Chisinau, 2018; международной научно-практической конференции «Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе», Воронеж, 2022 и др.

Результаты работы используются в СХПК «Дружба» (Приднестровская Молдавская Республика, 2021 г.), что подтверждается результатами опытно-производственной проверки модернизированного ДВС трактора ДТ-75М на энергоемких работах (вспашка, бронирование и др.). Показано также, что при внедрении новой конструкции газодизельного ДВС на тракторе ДТ-75М сохраняется тяговая характеристика трактора и комплект агрегируемых им сельхозмашин с сохранением рабочей скорости и производительности машинно-тракторного агрегата.

Разработанные математические модели и программы для ЭВМ, реализующие эти модели, используются в учебном процессе: ГОУ «Приднестровский государственный университет им. Т.Г. Шевченко» (ПГУ), ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I».

Личный вклад соискателя заключается в постановке цели, задач и выборе методов исследований, разработке программы и методики экспериментальных исследований, разработке установки и методики испытаний ДВС в газодизельном режиме, проведении опытов, выполненных лично автором; получении аналитических зависимостей и проведении расчетов, разработке компьютерных программ, совершенствовании топливоподающей системы газодизельного двигателя, обосновании состава комбинированной горючей смеси, обработке результатов эксперимента, выполненных при участии автора, подготовке публикаций по выполненной работе.

Публикации. Результаты исследований отражены в 32 научных работах общим объемом 7,7 п.л. (авторский вклад – 4,7 п.л.), из них 3 статьи – в рецензируемых научных изданиях, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций (авторский вклад – 1,42 п.л.), два свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ, шесть патентов.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, включающих 41 рисунок и 14 таблиц, заключения, списка литературы из 142 наименований, 10 приложений. Объем диссертации – 193 страницы.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Результаты, выносимые на защиту, относятся к пунктам: 5 «Мобильные и стационарные энерге-

тические средства, машины, агрегаты, рабочие органы и исполнительные механизмы»; 6 «Методы и средства оптимизации технологий, параметров и режимов работы машин и оборудования»; 7 «Методы и средства изыскания, исследования альтернативных видов энергии, технические средства для их применения» паспорта научной специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении раскрывается актуальность темы диссертационной работы, приводятся цель исследования, положения, выносимые на защиту, научная новизна, практическая ценность и реализация результатов, дается краткий обзор содержания работы.

В первом разделе «Рабочие процессы газодизельных двигателей» обосновываются вид газового топлива и схема конвертирования дизеля в газовый двигатель, рассматриваются проблемы реализации выбранной схемы конвертирования. Сравнительный анализ различных видов газовых топлив, пригодных для применения в ДВС и их физико-химических и моторных свойств.

На основании анализа литературных источников выделены ряд проблем присущих газодизельному циклу, обусловленных особенностями воспламенения и сгорания двухкомпонентного (состоящего из газовой и жидкой составляющих) топлива в газодизеле, а также приведены: выводы, цель и задачи исследования.

Во втором разделе «Теоретические предпосылки исследования» посвящена вопросам теоретического исследования рабочего цикла газодизеля. Анализируются особенности моделирования рабочего цикла газодизеля с внешним смесеобразованием по газовому топливу и внутренним по запальному жидкому и обосновывается возможность использования методики синтеза рабочего цикла дизеля применительно к исследуемому газодизелю; приводится методика и последовательность синтеза. С использованием методики теоретически исследуется влияние различных регулировочных, конструктивных и режимных параметров на рабочий цикл исследуемого газодизеля, анализируются варианты его совершенствования.

Цикл со смешанным подводом теплоты является суммой подвода теплоты при постоянном объеме и постоянном давлении. Проведен краткий анализ указанных параметров многочисленных экспери-

ментов показывают, что термический КПД постоянно растет при увеличении степени сжатия ε и показателя адиабаты k .

Применительно к поршневым двигателям общий случай осуществления термодинамического цикла, изображенного на рисунке 1, а, б в координатах $p - V$ и $T - s$. В этом цикле процессы сжатия (линия ac) и расширения (линия zb) происходят без теплообмена с

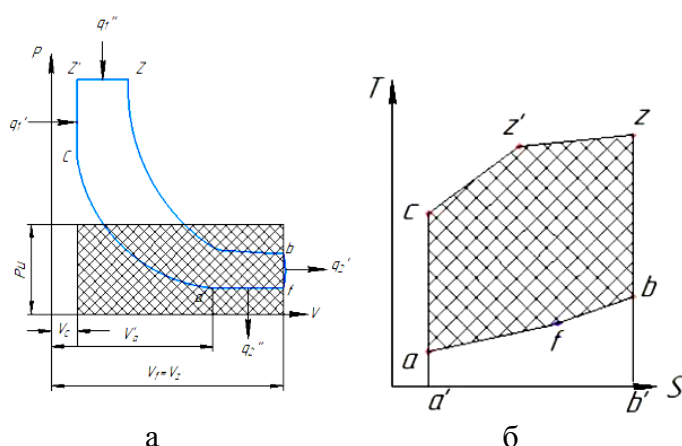


Рисунок 1. Термодинамический цикл

внешней средой ($d_q = 0$). При постоянном объеме подводится теплота q'_1 , а при постоянном давлении - теплота q''_1 . Отвод теплоты q'_2 , а при постоянном давлении - теплота q''_2 .

Количество подведённой теплоты (Дж/кг) в цикле для случая, когда работу совершает 1 кг рабочего тела, вычисляют по формуле

$$q_1 = C_v(T_{z'} - T_c) + C_p(T_z - T_{z'}), \quad (1)$$

где C_v и C_p - удельные массовые теплоемкости при постоянном объеме и постоянном давлении, Дж/кг;

$T_{z'}$, T_c и T_z - температура цикла соответственно в точках z' и z . В T-S координатах - $q_1 \sim Sa'acz'zbb'$.

Абсолютная количество отведенной теплоты

$$|q_2| = \omega(T_b - T_f + C_p(T_f - T_a)), \quad (2)$$

где T_b , T_f и T_a - температура цикла соответственно в точках b , f и a .

Обобщённый цикл газодизеля в координатах T-S $|q_2| \sim Sa'abb'$, тогда механический КПД цикла

$$\eta_{\text{ц}} = 1 - \frac{|q_2|}{q_1} = 1 - \frac{C_v(T_b - T_f) + k(T_f - T_a)}{C_v(T_{z'} - T_c) + k(T_z - T_{z'})}, \quad (3)$$

где $k = C_p/C_v$ - показатели адиабаты.

Площадь T-S диаграммы, получим $\eta_t = 1 - \frac{\frac{fa'a}{bb'}}{fa'acz'zbb'}$ (4)

Для получения окончательного выражения КПД через температуру в начале сжатия T_a , после преобразования согласно данным профессора Ховаха М.С получим

$$\eta_t = 1 - \frac{1\rho' \left[\lambda \left(\frac{\rho}{\rho'} \right)^k - 1 \right] + k(\rho' - 1)}{\varepsilon^{k-1} \lambda - 1 + k\lambda(\rho - 1)} \quad (5)$$

Среднее давление обобщенного цикла

$$\rho_{\text{ц}} = \frac{l_{\text{ц}}}{V_t - V_c}. \quad (6)$$

Учитывая, что

$$q_1 = C_v T_a \varepsilon^{k-1} [\lambda - 1 + k\lambda(p - 1)]; \quad (7)$$

$$V_f - V_c = V_c \left(\frac{V_f}{V_c} - 1 \right) = V_c (\varepsilon p' - 1) = \frac{V_a}{\varepsilon} (\varepsilon p' - 1). \quad (8)$$

и подставляя значение $l_{\text{ц}}$, тогда выражение среднего давления цикла примет вид

$$P_{\text{ц}} = C_v \frac{T_a \varepsilon^{k-1} \cdot \varepsilon}{V_a (\rho \cdot \varepsilon - 1)} \cdot \eta_t [\lambda - 1 + k \cdot \lambda(p - 1)]. \quad (9)$$

Для цикла со смешанным подводом теплоты, часть теплоты q'_1 подводится при постоянном объеме, а часть ее q''_1 - отводится при постоянном давлении q_2 и постоянном объеме.

Рассматриваемый цикл отличается от обобщенного тем, что в нем отсутствует процесс, при котором теплота отводится при постоянном давлении, следовательно, в данном случае $\rho' = 1$.

Тогда формула для КПД цикла при смешанном подводе теплоты примет вид

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{k-1}} \cdot \frac{\lambda p^{k-1}}{\lambda - 1 + k\lambda(p-1)}, \quad (10)$$

в среднем давление цикла

$$P_{\text{ц}} = \frac{P_a}{k-1} \cdot \frac{\varepsilon^k}{(\varepsilon-1)} \cdot \eta_t [\lambda - 1 + k\lambda(p-1)]. \quad (11)$$

По формуле (10) видно, что термический КПД η_t цикла со смешанным подводом теплоты зависит от показателя адиабаты k , степени сжатия ε , степени повышения давления λ и показателя расширения p . В данном случае, увеличение ε и большее значение k приводит к росту η_t .

Возрастание КПД заметно улучшается при высоких ε , начиная примерно с $\varepsilon=12 \dots 13$.

Изменения показателя адиабаты зависит от природы рабочего тела.

Для нашего случая (газодизель) подходит вариант цикл со смешанным подводом теплоты (рис. 2).

Кроме сказанного, на практике часто прибегают к определению доли жидкого запального топлива по отношению к общему заряду (газообразное и жидкое топливо) по теплу q

$$q = \frac{b \cdot Q_H}{H_H + b \cdot Q_H} \quad (12)$$

где q - доля жидкого зажигательного топлива по отношению к общему заряду газообразного и жидкого топлива по теплу;

b - масса присадки жидкого топлива на 1 м³, кг

Взаимосвязь между q и b выражается равенством:

$$b = \frac{q H_H}{(1-q) \cdot Q_H} \quad (13)$$

В газожидкостных дизелях наиболее часто встречается значение $q = 0,08$, следовательно значения $b = 0,074$.

Таким образом, термический КПД цикла повышается с увеличением степени сжатия ε и степени повышения давления λ , увеличения степени предварительного расширения p снижает КПД. Коэффициент k определяет зависимость η_t от свойств рабочего тела.

В основном все параметры технического КПД зависят от температур в характерных точках цикла. Параметр k влияет на характер протекания процесса цикла. Поэтому для газодизельного двигателя в обязательном порядке необходимо определение температур в характерных точках цикла 1-2-3-4-5.

По этим температурам с учетом давлений находят и остальные коэффициенты для определения мощностных и экономических показателей двигателя, так например помощью характеристики где на скоростной ветви наглядно представлены все энергетические и экономические параметры двигателя в зависимости от частоты вращения, а так же более точно установлен максимальный крутящий момент M_{δ} и легко можно рассчитать запас крутящего момента, который для испытуемого двигателя составляет

$$K = (M_{\delta\text{max}} - M_{\delta\text{H}}) / M_{\delta\text{H}} = 8,3\% \quad (14)$$

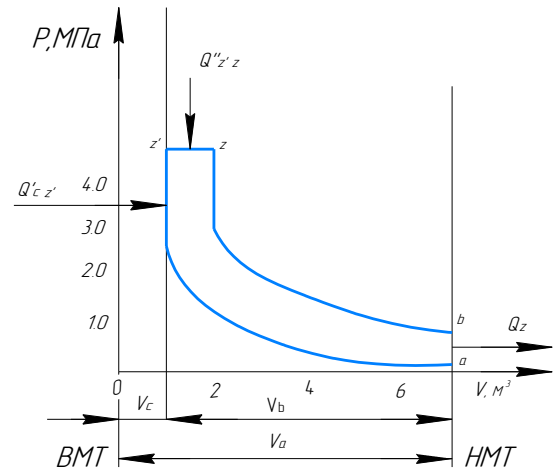


Рисунок 2. Цикл со смешанным подводом теплоты

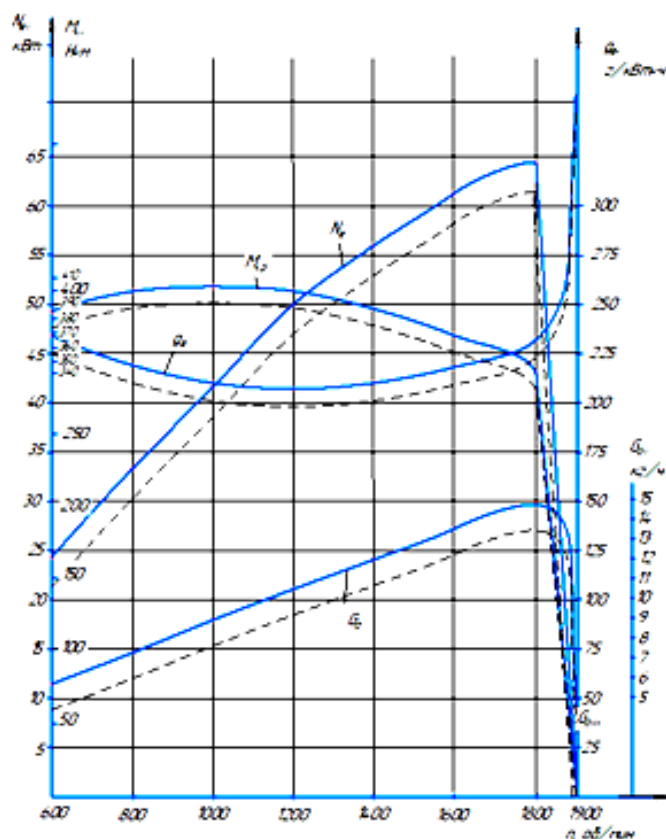


Рисунок 3. Сравнительные характеристики двигателей, работающих на жидком топливе и на газе с присадкой жидкого запального топлива
 ——— дизель; - - - - газодизель

При этом коэффициент избытка воздуха α для каждой частоты вращения устанавливается таким образом, чтобы он способствовал развитию наибольшей мощности.

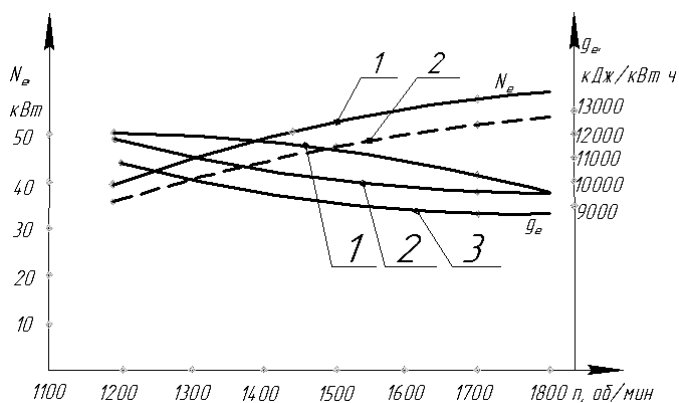


Рисунок 4. Сравнительные характеристики мощности и удельного расхода теплоты двигателя.
 1 - на жидком топливе; 2 - на газе с присадкой жидкого топлива; 3 - только на газе с вычетом жидкого топлива.

воспламенению. По указанной причине возникает необходимость изменения угла опережения впрыска с целью определения его оптимального значения.

Как видно из рисунка 4 удельный расход теплоты работы двигателя по газодизельному циклу составляет 9150...11550 кДж/кВт·ч, что незначительно ниже, чем у

Как следует из характеристик, (рис. 3) эффективная мощность двигателя N_e , работающего в обоих режимах (дизель и газодизель) по мере увеличения частоты вращения вначале возрастает, примерно пропорционально частоте вращения, затем, при дальнейшем увеличении частоты вращения и максимальных оборотах, мощность достигает наибольшей величины. При дальнейшем увеличении частоты вращения, мощность двигателя снижается. На обоих режимах работы двигателя, как видно из характеристик, характер изменения мощности сохраняется, однако абсолютная величина мощностей различна: понижена в газодизельном режиме работы двигателя на 8 ... 9%. Таким образом, мощность двигателя в газодизельном режиме при работе на скоростной характеристике будет изменяться пропорционально частоте вращения.

Как видно из приведенных данных, мощность двигателя на газе с присадкой жидкого топлива на всех числах оборотов не достигает полной мощности двигателя как при работе на жидком топливе и составляет не более 10...12%.

Это связано со следующими факторами: в первую очередь изменяется процесс горения и, как результат, изменяется фронт распространения пламени, а последний зависит от состава и качества рабочей смеси. Для запальной дозы топлива газоздушная смесь не благоприятствует

двигателя, работающего по дизельному циклу. Это свидетельствует, что цикловая подача жидкого топлива и газа с присадкой жидкого топлива имеет разную теплотворную способность. В результате чего двигатель развивает меньшую мощность на одинаковых частотах вращения коленчатого вала.

Представляет интерес анализ кривых удельного расхода топлива (рис. 4) от состава подведённого в цилиндры топлива. Как видно из расчетного графика максимальный тепловой импульс наблюдается при работе чистом дизельном топливе, а минимальный при работе на газе.

В тоже время тепловой импульс на газодизельном режиме занимает промежуточное положение, что свидетельствует о том, что сгорание запальной дозы приносит свою часть энергии и в меньшей степени снижает энергетическую эффективность, чем работа на газе.

В третьем разделе «Разработка топливоподающей системы газодизеля. Программа и методика исследований» освещаются технические мероприятия по модернизации топливоподающей системы дизеля при конвертировании его в газодизель с комбинированным смесеобразованием. Приведены описание объекта исследования с иллюстрацией фрагментов топливоподающей системы и общего вида газодизеля, принципиальная схема экспериментального стенда и установки датчиков, даны характеристики газовой аппаратуры, перечень измеряемых параметров и средств измерения, описаны этапы и последовательность экспериментального исследования, выполнена оценка погрешностей измерений. Анализируются способы подачи газового топлива и обосновывается рациональность его подачи путем всасывания под воздействием разряжения во впускном тракте газодизеля. Рассматриваются особенности условий эксплуатации разрабатываемого газодизеля. Разрабатываются технические аспекты модернизации топливоподающей системы. Приводится описание модернизированной системы и принципа ее работы при эксплуатации газодизеля на жидком и двухкомпонентном (состоящем из газовой и жидкой составляющих) топливах.

Модернизированная система (рис. 5) обеспечивает эксплуатацию газодизеля в дизельном и газодизельном режимах. Некоторые элементы оборудования подверглись модернизации, что обеспечило наилучшую конвертацию дизеля СМД-18Н. В дизельном режиме работы газовое топливо не подается, система топливоподдачи функционирует как в базовом дизеле.

Смешивание газового и воздушного потоков производится непосредственно во впускном коллекторе 1. Газовое топливо подводится по средствам электромагнитных газовых форсунок (инжектор) 20.

Дозирование газового топлива осуществляется регулированием его подачи через электромагнитные газовые форсунки 20 по средствам управления электронной педалью 21.

Поддержание заданной частоты вращения коленчатого вала производится автоматически, главным образом за счет изменения подачи газового топлива путем управления работой электромагнитных газовых форсунок 20 (изменение подачи жидкого топлива насосом высокого давления незначительно). Для этого на торце ТНВД смонтирован шаговый двигатель 11, соединенный через промежуточный рычаг с топливной рейкой насоса высокого давления. Шаговый двигатель 11, вращаясь (по часовой и против стрелки), обеспечивает изменение подачи жидкого топлива в незначительных пределах.

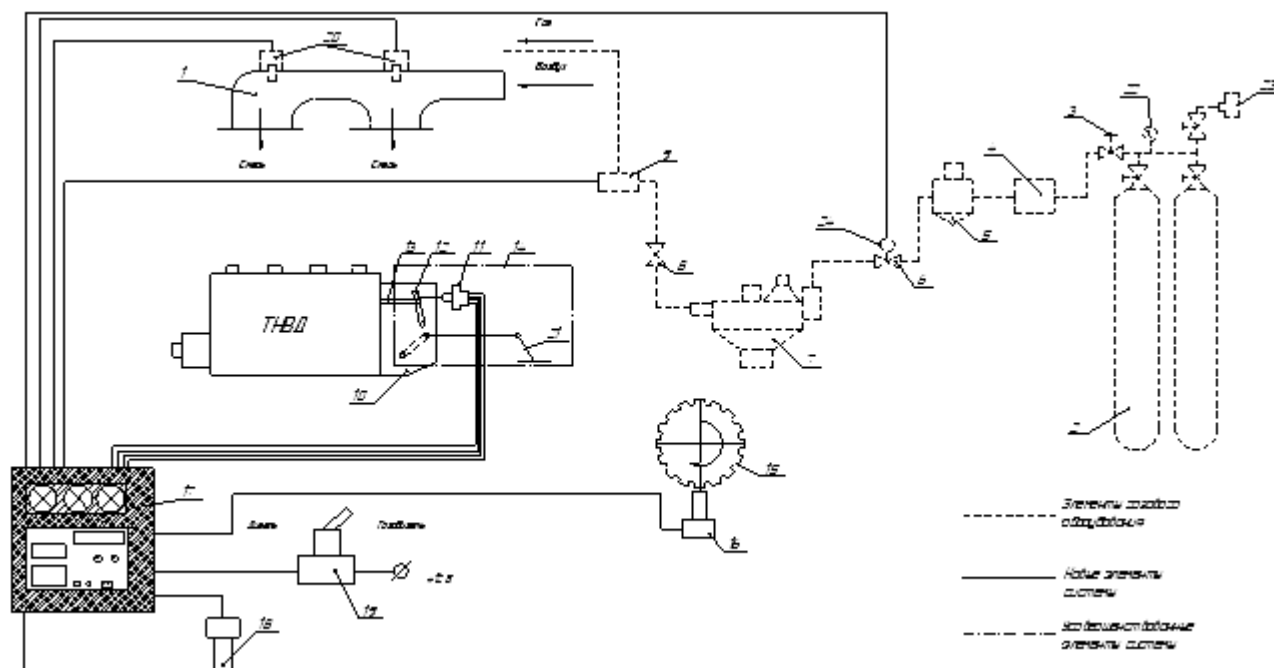


Рисунок 5. Конструктивно-технологическая схема перевода дизельного ДВС на работу в газодизельном режиме

1 – впускной коллектор; 2 – кассета баллонов; 3 - вентиль расходный; 4 - фильтр газовый; 5,7 - редукторы газовые высокого и низкого давления; 6 - клапан электромагнитный-газовый; 8,9 - жиклер и дозатор газовые; 10 - всережимный регулятор ТНВД; 11 – шаговый двигатель; 12,13 - рычаг регулятора и рейка ТНВД; 14 - ММЗД; 15 - крыльчатка; 16,18 - датчики частоты вращения и температуры; 17 - (ЭБУ); 19 - переключатель режимов работы двигателя; 20 - электромагнитный (газовый) инжектор; 21 - электронная педаль управления; 22 - манометр; 23 - наполнительный вентиль; 24 - датчик аварийного падения давления.

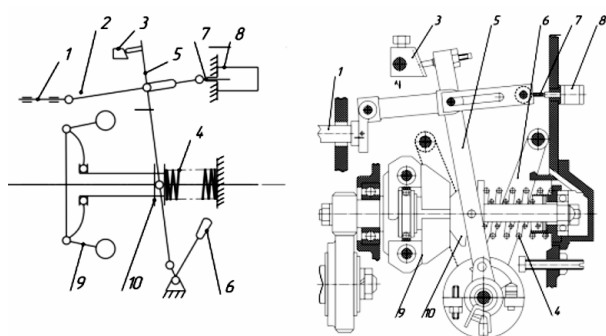


Рисунок 6. Кинематическая схема модернизированного всережимного регулятора РВ - 850

1 - топливная рейка ТНВД; 2 - вилка рычага регулятора; 3 – призма обогатителя; 4 – пружина регулятора; 5 – рычаг регулятора; 6 – рычаг управления; 7 - насадка на вал шагового двигателя с резьбой; 8 – шаговый двигатель; 9 – грузики регулятора; 10 – подвижная муфта

Подача газового топлива к редуктору низкого давления осуществляется по традиционной схеме, принятой для газобаллонных установок автомобилей. Схема включает резервуары высокого давления 2 для хранения газового топлива, вентиль 3, газопроводы, редуктор высокого и низкого давления 5,7, запорный электромагнитный клапан 6, фильтр 4, другие элементы.

Для обеспечения работы ТНВД в режиме газодизеля предусматривается установка механизма обеспечения минимальной запальной дозы (ММЗД) дизельного топлива, препятствующего перемещению топливной рейки на увеличение подачи жидкого топлива. Для облегчения управления, перевод ТНВД в

газодизельный режим, осуществляется дистанционным переключением ММЗД дизельного топлива.

При выборе конструктивной схемы механизма установки подачи запальной дозы дизельного топлива, принималась во внимание необходимость внесения минимальных изменений в конструкцию ТНВД и регулятора с целью сохранения рабочих характеристик газодизеля в дизельном режиме без изменений.

Устройство включает собственно всережимный регулятор 10, состоящий из рейки 13 топливного насоса, связанную через рычаг 12 непосредственно с рычагом 21 управления, находящимся в кабине тракториста. Одновременно рычаг 12 взаимодействует с призмой обогатителя 3 (см. рис. 6), а рейка 13 посредством вала 29 с электрическим шаговым двигателем 11, обеспечивающим дозированную подачу дизельного топлива. Центробежный регулятор 10 служит для изменения подачи топлива в зависимости от нагрузки (рис. 5). В качестве винта выступает вал шагового двигателя 29, а в качестве гайки вилка тяги регулятора 12.

Контроль движения шагового двигателя осуществляется разработанным программным комплексом «Газодизель - Pro», написанным на языке «С++» с использованием среды разработки «Arduino IDE» (патент РФ № 2022661445).

В ходе поисковых исследований было получено 5 авторских свидетельств на изобретение.

В четвертом разделе «Исследование показателей работы ДВС при газозамещении дизельного топлива» определена экспериментальная оценка эффективности разработанных мероприятий по совершенствованию рабочего цикла газодизеля и проверке работоспособности системы топливоподачи.

Как показали исследования, важным фактором при регулировке и установке

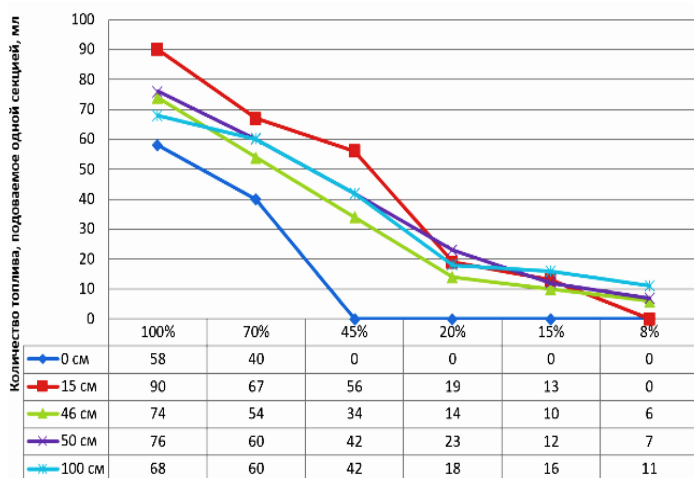


Рисунок 7. Зависимость изменения количества запальной дозы от длины трубопровода высокого давления

трубопровода, равной 46 см, график впрыска представляет собой прямую и что позволяет снизить запальную дозу впрыска дизельного топлива до 8 % от нормы.

Проанализировав полученные данные, можно заключить, что при увеличении длины трубопровода высокого давления увеличивается и норма впрыска дизельного топлива. Возникает необходимость в регулировке ТНВД (для газодизеля) на регулировочном стенде, используя трубопроводы той же длины, что установленные на двигателе.

запальной дозы на топливной аппаратуре является длина трубопроводов высокого давления. Если при регулировке ТНВД дизельного двигателя этим фактором можно пренебречь, то для газодизеля он является ключевым. При изменении длины трубопровода резко изменяются нормы впрыска топлива, особенно это сказывается при работе с минимальными дозами впрыска. Результаты испытаний приведены на рисунке 7.

При стандартной длине

Использованием методики теоретического исследования позволило выявить влияния относительной величины запальной порции топлива Ω на показатели рабочего цикла газодизеля и оценены мероприятия по его совершенствованию и необходимых при работе тракторного двигателя СМД-18Н. Анализ результатов показывает, что увеличение доли замещаемого жидкого топлива сопровождается существенным ростом максимальных значений давления газов $P_{\max}$, быстроты его нарастания W_p , максимальной температуры цикла $T_{\max}$.

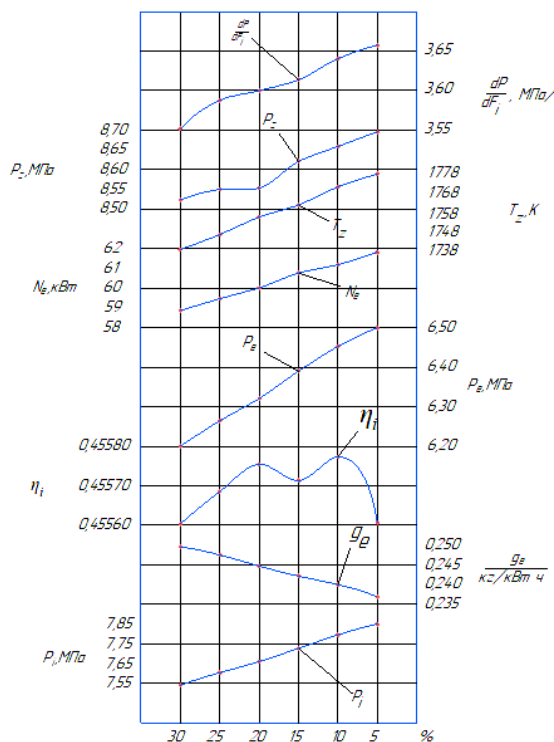


Рисунок 8. Влияние доли замещения газом дизельного топлива

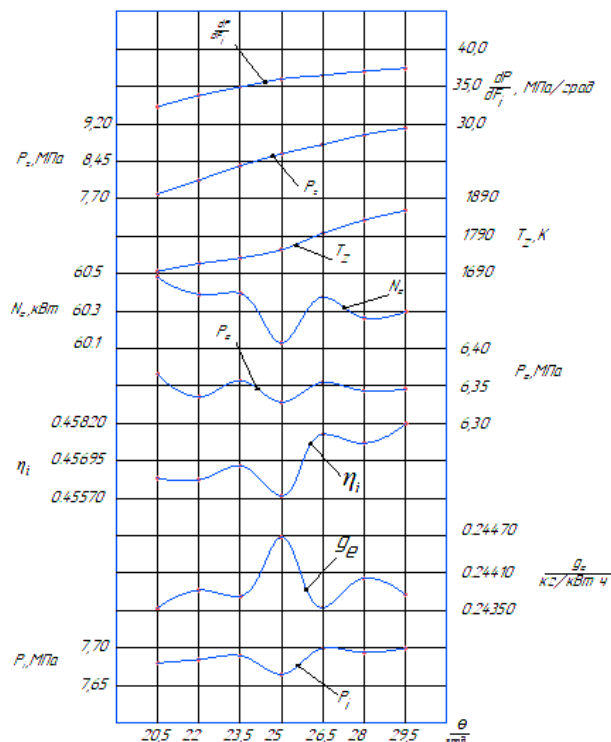


Рисунок 9. Влияние угла опережения подачи запальной дозы дизельного топлива на основные показатели работы ДВС

Приводятся регулировочные характеристики по относительной величине запальной порции топлива Ω (рис. 8). Отмечается, что уменьшение Ω сопровождается улучшением параметров мощности, характеризуемый значением N_e . При этом наблюдается существенный рост показателей механической и тепловой нагруженности, характеризуемой величинами $P_{\max}$, W_p , и T_z . Это объясняется увеличением длительности периода задержки воспламенения и сокращением продолжительности процесса сгорания, выявленным при анализе индикаторных диаграмм. Работа газодизеля при компромиссном угле начала подачи запального топлива $\theta_{\text{под}} = 27$ град ПКВ (рис. 9), обеспечивавшая практически одинаковые показатели в сравнении с базовым дизелем, в зоне нагрузок близких к $N_e = 65$ кВт обеспечивают условия надежной работы подшипников кривошипно-шатунного механизма, исключения перегрева распылителя.

Приводятся регулировочные характеристики по углу опережения подачи запального топлива $\theta_{\text{под}}$. Уменьшение $\theta_{\text{под}}$ позволяет добиться снижения параметров механической ($P_{\max}$, W_p) и тепловой (t_p) нагруженности.

Для газодизеля СМД-18Н целесообразно ограничение Ω величиной 20 % и уменьшение угла опережения подачи запального топлива $\theta_{\text{под}}$.

При реализации газодизельного цикла, на режимах внешней скоростной характеристики, двигатель работает устойчиво. В диапазоне частот вращения $n = 1800 \dots 1900 \text{ мин}^{-1}$ происходит автоматическое регулирование подачи топлива, обеспечивается степень неравномерности частоты вращения коленчатого вала идентичная таковой в базовом дизеле.

В пятом разделе «Оценка технико-экономической эффективности использования газодизельного ДВС» приводятся результаты оценки безопасности применения компримированного природного газа и газобаллонного оборудования, схема размещения баллонов и их конструктивные параметры, опытно-производственная проверка, а также приведена экономическая эффективность использования тракторов в условиях с/х работ.

В рамках опытно производственных испытаний был проведен анализ эколого - экономических аспектов использования газодизельного двигателя. Экономическая эффективность исходя из того, что средняя годовая нагрузка на трактор ДТ-75М конвертированного в газодизельный составляет 600 га условной пахоты, составит 144000 рублей.

В заключении дается анализ выполненной диссертационной работы и формулируются основные выводы и рекомендации.

В приложении приводятся расчеты рабочего цикла газодизеля, выполненные при проведении теоретического исследования; схемы элементов топливоподающей системы; акты использования результатов диссертационной работы; авторские свидетельства на изобретение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выполнены анализ и обоснование способа конвертирования дизеля в газодизель и вида используемого газового топлива, адаптирована методика синтеза для моделирования рабочего цикла газодизеля с комбинированным смесеобразованием.

2. Проведена оценка влияния регулировочных и конструктивных параметров систем топливоподачи на показатели рабочего цикла газодизеля для чего осуществлено совершенствование топливоподающей системы дизельного двигателя СМД-18Н при конвертировании его в газодизель с комбинированным смесеобразованием, проведена экспериментальная оценка эффективности совершенствования рабочего цикла ДВС. Установлен оптимальный угол начала впрыска запальной дозы дизельного топлива в 27° ПКВ и состав комбинированной горючей смеси газодизельного двигателя с минимальной величиной запальной дозы дизельного топлива в 12-15%.

3. Установка оснащена комплексом измерительной аппаратуры для определения индикаторных и эффективных показателей работы ДВС и снабжена рядом устройств, позволяющих изменять подачу топлива и угол опережения впрыска в зависимости от оценки энергетической характеристики природного газа посредством измерения физических характеристик газовой смеси и введении этой и другой сопутствующей информации в компьютерную программу для управления ТНВД при переходе двигателя с дизельного режима на газодизельный.

4. Разработана, изготовлена и модернизирована топливоподающая система питания газодизельного двигателя с комбинированным смесеобразованием с минимальными вносимыми конструктивными изменениями. Для этого ТНВД укомплек-

тован механизм минимизации запальной дозы дизельного топлива, а система питания комплектом оборудования, включающего баллоны для компримированного природного газа, заправочную, распределительную и контрольную аппаратуру.

5. Регулировочная характеристика по относительной величине запальной дозы топлива показывает, что увеличение доли газового топлива сопровождается существенным ростом показателей тепломеханической нагруженности газодизеля, при этом уменьшение угла начала подачи запального топлива позволяет добиться снижения этих показателей.

6. Изменения энергетических показателей работы газодизельного двигателя на жидком топливе и газодизельном режиме показали, что мощность падает не более чем на 10...12 % по сравнению с жидким топливом. Более высокий коэффициент избытка воздуха при работе в газодизеле приводит к некоторому снижению теплотворности рабочей смеси и уменьшению скорости сгорания, этим подтверждается снижение до 10% номинальной мощности двигателя.

7. По результатам теоретических и экспериментальных исследований проведено усовершенствование трактора ДТ-75М укомплектованием его модернизированным ДВС СМД-18Н и кассетой метановых баллонов; проведена опытно-производственная проверка в реальных полевых условиях в агрофирме ПК «Дружба», с. Протягайловка, г. Бендеры. Опытно-производственная проверка показала, что номинальное тяговое усилие составляет 29,4 кН при максимальной тяговой мощности 42 кВт и буксовании не более 3%, что вписывается в тяговый класс трактора.

8. Установлено, что за счет снижения расхода топлива на выполнение механизированных работ суммарный экономический эффект на 100 га составит 24000 рублей, что в пересчете на годовую нагрузку трактора в 600 га условной пахоты составляет 144000 рублей с замещением 85 % дизельного топлива газовым, общим объемом 1080 л. Срок окупаемости капитальных вложений составляет 0,56 года.

9. Результаты диссертационной работы используются в учебном процессе и внедрены в производство. Для оптимальной работы газодизельного двигателя оптимальный угол опережения начала впрыска запальной дозы дизельного топлива следует обеспечить в передлах 27^0 ПКВ, что позволит обеспечить состав комбинированной горючей смеси газодизельного двигателя с минимальной величиной запальной дозы дизельного топлива в 12-15%. Разработанная в диссертационной работе конструктивная схема размещения комплекта баллонов на тракторе позволяет рекомендовать установку кассеты из 5 единиц размером 1500x1350 мм модернизированных облегченных на 31 кг метановых баллонов с размещением ее над кабиной трактора, без ухудшения обзора механизатору, не влияя на смещение центра тяжести и его устойчивость.

10. Перспективными направлениями дальнейшей разработки темы являются: изучение влияния величины впрыска запальной дозы дизельного топлива с целью ее уменьшения, а также снижения затрат на дорогостоящее дизельное топливо и выбросов отработавших газов; поиск оптимальных режимов работы газодизельного двигателя, обеспечивающих максимальный экономический эффект.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых научных изданиях

1. Анисимов И.Ф. Период задержки воспламенения в газодизеле [Текст] / Анисимов И.Ф., Чернобрисов С.Ф., Димогло А.В. // Тракторы и сельскохозяйственные машины, 2007. № 6. С. 19-20.

2. Димогло А.В. Исследование энергетических характеристик использования природного метана в газодизельном процессе ДВС [Электрон. ресурс] / Димогло А.В., Козлов В.Г. // АгроЭкоИнфо, 2022. № 3. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/3/st_317.pdf.

3. Димогло А.В. Экспериментальная оценка работы топливных насосов газодизельных ДВС с использованием аппаратно-программного и диагностического комплексов «Газодизель-Pro» и «MT Pro 4.1» [Электрон. ресурс] / Димогло А.В., Козлов В.Г. // АгроЭкоИнфо, 2022. № 3. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2022/3/st_318.pdf.

Патенты

4. Патент 227 Приднестровская Молдавская Республика, B23 P 6/04; B21 D 51/24; B29C 63/06. Способ восстановления газовых баллонов высокого давления / Брикса А.Н., Бурменко Ф.Ю., Димогло А.В., Юров Л.Л.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего образования «Приднестровский Государственный университет им. Т.Г. Шевченко». - № 02100243; Заявлено 26.04.2002; опубл.27.05.2002. Бюл. № 8.

5. Патент 294 Приднестровская Молдавская Республика, F02D 31/00. Устройство к всережимному регулятору дизельного двигателя / Анисимов И.Ф., Чернобрисов С.Ф., Димогло А.В.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего образования «Приднестровский Государственный университет им. Т.Г. Шевченко». - № 04100326; Заявлено 17.11.2004; опубл.31.01.2005. Право и общество №1

6. Патент 451 Приднестровская Молдавская Республика, F02D 31/00. Ограничитель запальной дозы топлива к всережимному регулятору дизельного двигателя / Димогло А.В.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего образования «Приднестровский Государственный университет им. Т.Г. Шевченко». - № 13100500; Заявлено 25.04.2013; опубл.23.05.2013. Вестник Приднестровского университета №2(44)

7. Патент 524 Приднестровская Молдавская Республика, F02B 45/10; F02D 19/10. Способ регулирования подачи топлива в двигатель внутреннего сгорания / Бурменко Ф.Ю., Димогло А.В.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего образования «Приднестровский Государственный университет им. Т.Г. Шевченко». - № 20100578; Заявлено 21.09.2020; опубл.19.11.2020. Вестник Приднестровского университета №2(68)

8. Патент 525 Приднестровская Молдавская Республика, G01M 15/04; F02B 7/02. Установка для исследования работы дизельных двигателей внутреннего сгорания / Бурменко Ф.Ю., Димогло А.В.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего образования «Приднестровский

Государственный университет им. Т.Г. Шевченко». - № 20100579; Заявлено 21.09.2020; опубл.19.11.2020. Вестник Приднестровского университета №2(68)

9. Патент 540 Приднестровская Молдавская Республика, F17C 1/16; F17C 1/08; F17J 12/00. Способ изготовления газового баллона высокого давления из композитных полимерных материалов / Бурменко Ф.Ю., Бурменко Ю.Ф., Димогло А.В., Юров Л.Л.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего образования «Приднестровский Государственный университет им. Т.Г. Шевченко». - № 21100595; Заявлено 22.11.2021; опубл.28.01.2022. Вестник Приднестровского университета №1(70).

10. Патент 2022661444 Российская Федерация. Программный комплекс «Газодизель +» для расчета и оптимизации работы двигателей внутреннего сгорания/ Козлов В.Г., Димогло А.В., Бурменко Ф.Ю., Козлова Е.В.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I». - № 2022660691; Заявлено 07.06.2022; опубл.21.06.2022. Бюл. № 7.

11. Патент 2022661445 Российская Федерация. Программный комплекс управления впрыском форсункой запальной дозы в составе топливных систем газовых дизелей/ Козлов В.Г., Димогло А.В., Косаченко С.Ю., Козлова Е.В.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I». - № 2022660687; Заявлено 07.06.2022; опубл.21.06.2022. Бюл. № 7.

Статьи в материалах конференций, сборниках научных статей и научных журналах

12. Анисимов И.Ф. Исследования газодизеля как экологически безопасного источника механической энергии [Текст] / Анисимов И.Ф., Чернобрисов С.Ф., Димогло А.В. // в сборнике: Экологическое образование и охрана окружающей среды Материалы международной научно-практической конференции в 2 частях. 2014. МГТУ им. Н.Э. Баумана. С.177-183.

13. Способы повышения КПД автотракторных двигателей / И. Ф. Анисимов, С. Ф. Чернобрисов, А. В. Димогло, В. С. Михайлов // Вестник Приднестровского университета. Серия: Физико-математические и технические науки. Экономика и управление. – 2014. – № 3(48). – С. 107-113.

14. Научное обоснование энергосберегающих технологий возделывания сельскохозяйственных культур в агрофирмах ПМР / И. Ф. Анисимов, С. Ф. Чернобрисов, В. Н. Чубко, А. В. Димогло [и др.] // Вестник Приднестровского университета. Серия: Физико-математические и технические науки. Экономика и управление. – 2014. – № 3(48). – С. 102-107.

15. Анисимов И.Ф. Научное обоснование перевода тракторного парка на сжатый природный газ [Текст] / Анисимов И.Ф., Чернобрисов С.Ф., Бадюл В.Г., Димогло А.В. // Вестник Приднестровского Университета, Юбилейный выпуск. 2010. № 1(36). С. 261-276.

16. Димогло А.В. Выбор оптимальной конструкции всережимного регулятора дизельного двигателя [Текст] / Димогло А.В., Чернобрисов С.Ф., Анисимов И.Ф. // Вестник Приднестровского Университета. 2005. № 3(23). С. 130-132.
17. Анисимов И.Ф. Исследования периода задержки воспламенения горючей смеси тракторного дизеля, конвертируемого в газодизель [Текст] / Анисимов И.Ф., Чернобрисов С.Ф., Димогло А.В. // Вестник Приднестровского Университета. 2004. № 1(19). С. 113-116
18. Анисимов И.Ф. Обоснование перевода тракторного парка на сжатый природный газ [Текст] / Анисимов И.Ф., Чернобрисов С.Ф., Димогло А.В. // Вестник Приднестровского Университета. 2004. № 1(19). С. 111-113.
19. Анисимов И.Ф. Разработка и обоснование конструктивной схемы смесительной камеры газодизеля [Текст] / Анисимов И.Ф., Чернобрисов С.Ф., Димогло А.В. // Вестник Приднестровского Университета. 2005. № 3(23). С. 137-139.
20. Анисимов И.Ф. Расчет основных параметров смесителя газодизеля [Текст] / Анисимов И.Ф., Чернобрисов С.Ф., Димогло А.В. // Вестник Приднестровского Университета. 2005. № 3(23). С. 132-137.
21. Анисимов И.Ф. Техничко-экономический показатели работы трактора ДТ-75 в режимах дизеля и газодизеля [Текст] / Анисимов И.Ф., Чернобрисов С.Ф., Димогло А.В. // в сборнике: Задачи высшей школы по подготовке специалистов в условиях реформирования аграрно-промышленного комплекса Материалы научно-практической конференции. ПГУ им. Т.Г. Шевченко. 2008. С.25-29.
22. Анисимов И.Ф. Методы оптимизации запальной дозы дизельного топлива газодизеля [Текст] / Анисимов И.Ф., Чернобрисов С.Ф., Димогло А.В., Михайлов В.С. // в сборнике: Аграрная наука и образование-основа успешного развития АПК Приднестровья Материалы научно-практической конференции. ПГУ им. Т.Г. Шевченко. 2017. С.203 – 208.
23. Бурменко Ф.Ю. Газовый тороидаальный баллон высокого давления [Текст] / Бурменко Ф.Ю., Юров Л., Димогло А.В. // в сборнике: Инновационно-инвестиционных проектов ПГУ им. Т.Г. Шевченко. 2010. С.19-20.
24. Димогло А.В. Исследования способов минимизации запальной дозы дизельного топлива газодизеля [Текст] / Димогло А.В. // в сборнике: The International Scientific Symposium “Achievements and Perspectives in Agricultural Engineering and Auto Transport” dedicated to the 85 th anniversary of the State Agrarian University of Moldova. Chisinau. 2018. С. 317-321.
25. Димогло А.В. Некоторые предпосылки использования метана в качестве моторного топлива [Текст] / Димогло А.В. // в сборнике: История и этапы развития учебной организации по подготовке кадров производственного назначения Материалы Республиканской научно-практической конференции. ПГУ им. Т.Г. Шевченко. 2009. С.310-314.
26. Димогло А.В. Факторы, влияющие на оптимизацию запальной дозы дизельного топлива газодизеля [Текст] / Димогло А.В. // в сборнике: Экологическое образование и охрана окружающей среды Материалы международной научно-практической конференции. Брянский ГТУ. 2016. С.152-157.
27. Димогло А.В. Аппаратно-программный комплекс для исследования динамических характеристик топливных насосов высокого давления газодизельных

ДВС [Текст] / Димогло А.В., Косаченко С.Ю., Ставинский А.С. // Вестник Приднестровского Университета. 2021. № 3(69). С. 120-125.

28. Димогло А.В. Химмотологическое обоснование использования сжатого природного газа в качестве моторного топлива [Текст] / Димогло А.В., Чернобрисов С.Ф., Бурменко Ф.Ю., Боунегру Т.В. // Вестник Приднестровского Университета. 2021. № (68). С. 187-198.

29. Димогло А.В. Химмотологический анализ природного газа используемого в качестве моторного топлива [Текст] / Димогло А.В., Козлов В.Г., Бурменко Ф.Ю. // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе: материалы международной научно-практической конференции. – Ч. II. – Воронеж: Воронежский ГАУ, 2022. С. 258-269.

30. Чернобрисов С.Ф. К выбору оптимального способа конвертации авто-тракторных дизелей в газодизеле на примере сжатого природного газа [Текст] / Чернобрисов С.Ф., Димогло А.В. // в сборнике: the conferenta internationala «Energetica Moldovei-2005» se consacra jubileului de 50 de ani de la fondarea Sistemului Energetic al Republicii Moldova si 40 de ani a Institutului de Energetica al Academiei de Stiinte a Moldovei. 2005. С.688 – 696.

31. Чернобрисов С.Ф. Автоматизированная экспериментальная установка для исследования и разработки газодизельных двигателей внутреннего сгорания [Текст] / Чернобрисов С.Ф., Бурменко Ф.Ю., Димогло А.В. // Аграрная наука (Stiinga Agricola), 2020. № 2. С. 103-111.

32. Чернобрисов С.Ф. К выбору оптимальной величины «запальной» дозы для надежного воспламенения двухтопливной смеси в газодизельном двигателе [Текст] / Чернобрисов С.Ф., Димогло А.В. // Аграрная наука (Stiinga Agricola), 2018. № 2. С. 154-157.

Просим принять участие в работе диссертационного совета 35.2.008.01 или выслать ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 13, ученому секретарю. Телефон: (473) 224-39-39, e-mail: et@agroeng.vsau.ru.

Подписано в печать 18.11.2022 г. Формат 60x84 ¹/₁₆. Бумага кн.-журн.

П.л. 1,0. Гарнитура Таймс. Тираж 100 экз. Заказ №23758.

Типография ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ 394087, Воронеж, ул. Мичурина, 1.