

## Бинарная топливная система дизелей для работы автотранспортных средств на нефтяном и бионефтяном топливе

А. П. Уханов<sup>1✉</sup>, доктор технических наук, профессор кафедры «Технический сервис машин»

А. Д. Уханов<sup>2</sup>, студент

Е. А. Сидоров<sup>3</sup>, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология производства и ремонт машин»

Л. И. Сидорова<sup>3</sup>, кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология производства и ремонт машин»

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО Пензенский ГАУ,

440014, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30

✉dispgau@mail.ru

<sup>2</sup>ФГАОУ ВО Национальный исследовательский ядерный университет (МИФИ)

115409, Москва, Каширское ш., 31

<sup>3</sup>ФГБОУ ВО Ульяновский ГАУ

432000, г. Ульяновск, бульвар Новый Венец, 1

**Резюме.** Работа выполнена с целью экспериментального подтверждения возможности работы серийно выпускаемых и находящихся в эксплуатации автотранспортных средств (АТС) на традиционном и альтернативном видах моторного топлива без вмешательства в конструкцию дизеля. Для этого разработана бинарная (двухтопливная) топливная система, обеспечивающая работу АТС в режимах пуска, прогрева и остановки дизеля на нефтяном дизельном топливе (НДТ), на остальных эксплуатационных режимах – на бионефтяном моторном топливе (БМТ). В процессе работы АТС узлы и агрегаты бинарной топливной системы качественно смешивают НДТ и растительное масло (РМ), дозируют НДТ и РМ, приготавливают требуемый состав БМТ, автоматически изменяют соотношение НДТ и РМ в БМТ в зависимости от нагрузочно-скоростного режима дизеля и температурных условий эксплуатации АТС при ручном или автоматическом управлении подачей БМТ. Результаты эксплуатационных исследований тракторного агрегата (МТЗ-82 + ПЛН-3-35) на вспашке показывают, что по сравнению с работой дизеля на НДТ при применении БМТ состава 10%НДТ:90%РМ с содержанием в нем 90% редечного масла (РМ) наблюдается незначительное снижение эксплуатационной мощности двигателя (на 1,3 %), однако при этом существенно увеличился погектарный расход топлива (до 19 %) и уменьшилась дымность отработавших газов (на 16,8 %). Полученные результаты свидетельствуют о возможности работы дизеля АТС на двух видах моторного топлива: традиционном НДТ и альтернативном БМТ.

**Ключевые слова:** автотранспортное средство, моторное топливо, ручное управление, автоматическое управление, микроконтроллер, датчики.

**Для цитирования:** Бинарная топливная система дизелей для работы автотранспортных средств на нефтяном и бионефтяном топливе / А. П. Уханов, А. Д. Уханов, Е. А. Сидоров и др. // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. № 3 (71). С. 212-219. doi:10.18286/1816-4501-2025-3-212-219

## Binary fuel system of diesel engines for operation of motor vehicles on petroleum and bio-petroleum fuels

A. P. Ukhanov<sup>1✉</sup>, A. D. Ukhanov<sup>2</sup>, E. A. Sidorov<sup>3</sup>, L. I. Sidorova<sup>3</sup>

<sup>1</sup> FSBEI HE Penza State Agrarian University,

440014, Penza, Botanicheskaya St., 30

✉dispgau@mail.ru

<sup>2</sup> FSBEI HE National Research Nuclear University (Moscow Engineering Physics Institute)

115409, Moscow, Kashirskoe highway., 31

<sup>3</sup> FSBEI HE Ulyanovsk State Agrarian University

432000, Ulyanovsk, Novyi Venets Blvd., 1

**Abstract.** The work was carried out with the aim to experimentally confirm the possibility of operation of serially produced and in-service motor vehicles (MV) on traditional and alternative types of motor fuel without interfering with the design of the diesel engine. For this purpose, a binary (dual-fuel) fuel system was developed, which ensures the MV operation in the modes of starting, warming up and stopping the diesel engine on petroleum diesel fuel (PDF), in other

operating modes - on bio-oil motor fuel (BMF). During the MV operation, the units and assemblies of the binary fuel system qualitatively mix PDF and vegetable oil (VO), dose PDF and VO, prepare the required composition of BMF, automatically change the ratio of PDF and VO in BMF depending on the load-speed mode of the diesel engine and the temperature conditions of MV operation with manual or automatic control of the BMF feed. The results of operational studies of the tractor unit (MTZ-82 + PLN-3-35) during plowing show that, compared to the operation of a diesel engine on PDF, when using a BMF composition of 10% PDF: 90% RO containing 90% radish oil (RO), there is a slight decrease in the operating power of the engine (by 1.3%), whereas, per-hectare fuel consumption has significantly increased (up to 19%) and exhaust smoke has decreased (by 16.8%). The results obtained indicate the possibility of operating a diesel MV on two types of motor fuel: traditional PDF and alternative BMF.

**Keywords:** motor vehicle, motor fuel, manual control, automatic control, microcontroller, sensors.

**For citation:** Binary fuel system of diesel engines for operation of motor vehicles on petroleum and bio-petroleum fuels / A.P. Ukhanov, A.D. Ukhanov, E.A. Sidorov, et al. // Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2025.3 (71): 212-219 doi:10.18286/1816-4501-2025-3-212-219

### Введение

Одним из направлений экономии топливно-энергетических ресурсов [1-3] и улучшения экологических показателей [4-6] автотранспортных средств (АТС) является частичное замещение нефтяного дизельного топлива (НДТ) бионефтяным моторным топливом (БМТ) [7-9], получаемым смешиванием НДТ и определенного сорта растительного масла (РМ) из возобновляемых масличных культур [10-12]. Сдерживающим фактором широкого применения БМТ является то, что серийно выпускаемые и находящиеся в эксплуатации АТС конструктивно не адаптированы к работе на таком виде моторного топлива [13-15].

Разработка простых в исполнении механических и электронных устройств для конструктивной адаптации АТС к работе на БМТ, подключаемых к штатной системе питания дизеля без вмешательства в её конструкцию, является эффективным решением вышеуказанной технической проблемы. С целью экономии НДТ, улучшения энергетических и экологических показателей наземной транспортной техники в странах Европы, Азии и Америки ведутся научные исследования по переводу работы двигателей внутреннего сгорания на альтернативное топливо, в основном на биодизель – жидкую смесь, состоящую из основы НДТ и биодобавки в виде эфира РМ.

Таким образом, создание энергоэффективной бинарной топливной системы дизелей, обеспечивающей работу АТС на нефтяном и экологически безопасном бионефтяном топливе, является мировой тенденцией и представляет актуальную и практически значимую задачу для агропромышленного комплекса России и в целом для развития экономики страны.

Целью исследований является экспериментальное подтверждение возможности работы серийно выпускаемых и находящихся в эксплуатации АТС на традиционном НДТ и альтернативном БМТ видах моторного топлива без вмешательства в конструкцию дизеля.

### Материалы и методы

На основе авторских патентов РФ на изобретение №2486000, №2486949, №2500463, №2503491, №2476716, №2484290, №2579521, №2811881,

№2811883 разработана и изготовлена бинарная (двухтопливная) топливная система дизелей АТС [16], «которая наряду со штатными элементами системы питания 2,8,17-21, дополнительно содержит бак РМ 1 (рис. 1), электронасос 5, смеситель 9 НДТ и РМ [17], во входных каналах 10,11 которого размещены для ручные краны (затворы) 12,13 с закрепленными на их осях 14,15 рычагами управления 23,24, кинематически соединенные с поворотным двуплечим рычагом 28. Последний имеет возможность, под действием усилия оператора перемещаться в пазах жестко закрепленного сектора 30 с указателем 31 и устанавливать вручную необходимое соотношение растительной и нефтяной составляющей БМТ или при необходимости переводить работу дизеля на НДТ. Для автоматического управления подачей БМТ во входных каналах смесителя 9 перед кранами 12,13 установлены тройники 32,33, в выходные отверстия которых ввёрнуты электродозаторы 34 и 35 соответственно НДТ и РМ. Электродозаторы 34 и 35 электрически соединены через микропроцессорный блок управления (МБУ) 36 с датчиками 37,38 и 39 соответственно нагрузочного режима – положения рейки топливного насоса высокого давления (ТНВД), скоростного режима – частоты вращения коленчатого вала дизеля и температуры атмосферного воздуха» [16]. Блок МБУ и электронасос через выключатель 40 подключены к источнику постоянного тока 41 бортовой электросети АТС напряжением 12 В или 24 В.

Работает бинарная система питания дизелей следующим образом. «При работе дизеля в ручном или автоматическом режимах пуск дизеля и его прогрев осуществляется на НДТ. При этом оба крана 12,13 полностью открыты, электродозатор НДТ 34 полностью открыт, а электродозатор РМ 35 полностью закрыт. Нефтяное топливо из бака 2, пройдя фильтр грубой очистки 8, электродозатор 34, смеситель 9, подается топливоподкачивающим насосом 17 через фильтр тонкой очистки 18 в ТНВД 20 и далее форсунками 21 впрыскивается в цилиндры дизеля. После прогрева дизеля на НДТ при переходе на автоматический режим управления подачей БМТ с помощью выключателя 40 к источнику питания 41 подключают МБУ 36 и электронасос 5, обеспечивающий подачу РМ в смеситель 9. Нефтяное топливо и

#### 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

РМ поступают в смеситель 9 через входные каналы 10,11 и электродозаторы 34,35. В смесителе 9 НДТ и РМ смешиваются, образуя БМТ, которое отводится через выходной канал 16. При этом клапан электродозатора РМ 35 по информативным сигналам соответствующих датчиков 39,37,38 открывается на соответствующую величину, а клапан электродозатора НДТ 34 на аналогичную величину прикрывается. Перед остановкой дизеля включателем 40 отключают МБУ 36 и электронасос 5 от источника питания 41,

клапан электродозатора РМ 35 полностью перекрывает входной канал 11 смесителя 9, а клапан электродозатора НДТ 34 полностью открывает входной канал 10 смесителя 9, и дизель переводится для работы на НДТ. После полной выработки БМТ и когда топливная система заполнится НДТ, дизель останавливают путем перемещения наружного рычага 22 центробежного регулятора частоты вращения в положение «Подача топлива выключена». Последующий пуск дизеля будет осуществляться на НДТ» [16].

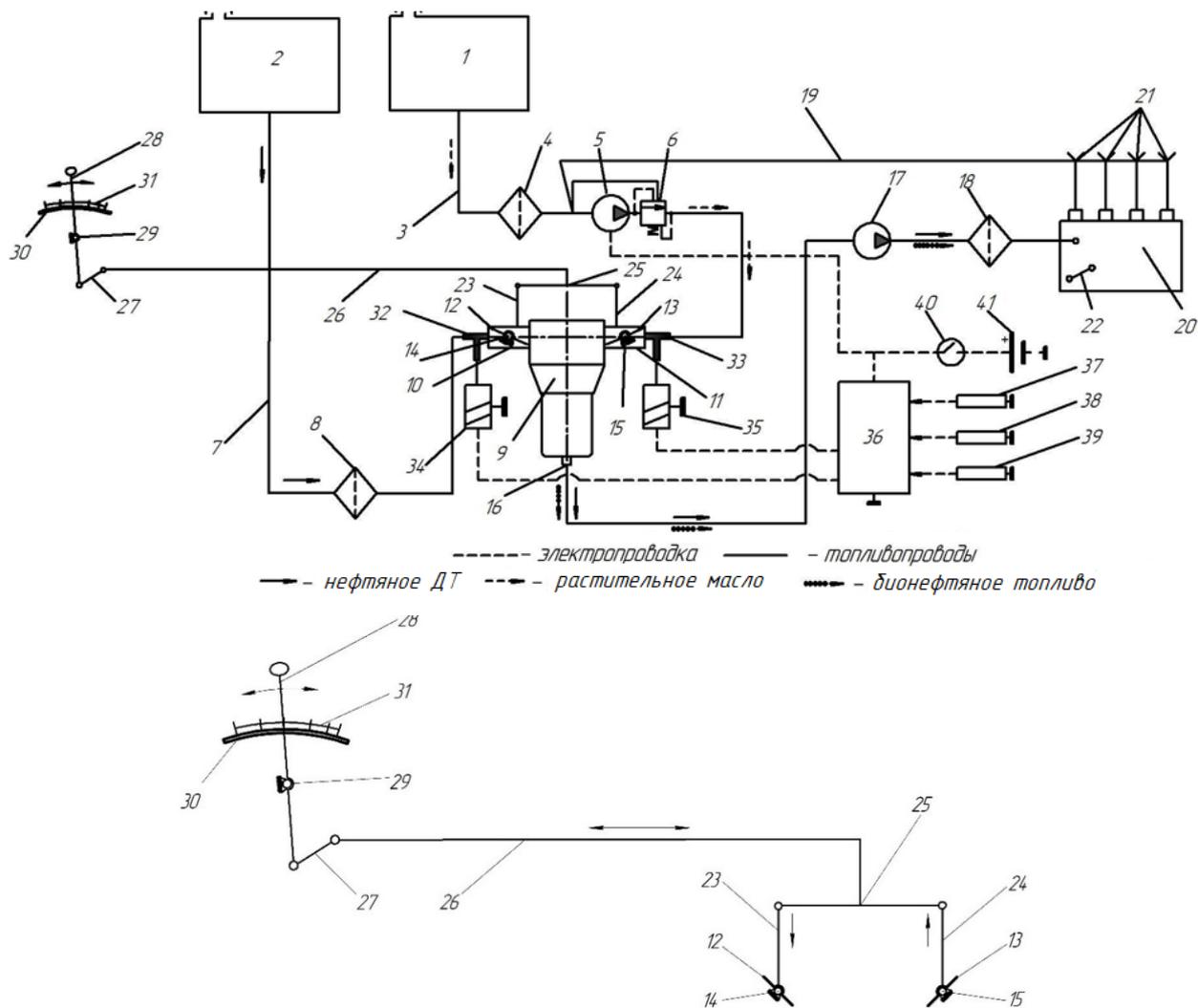
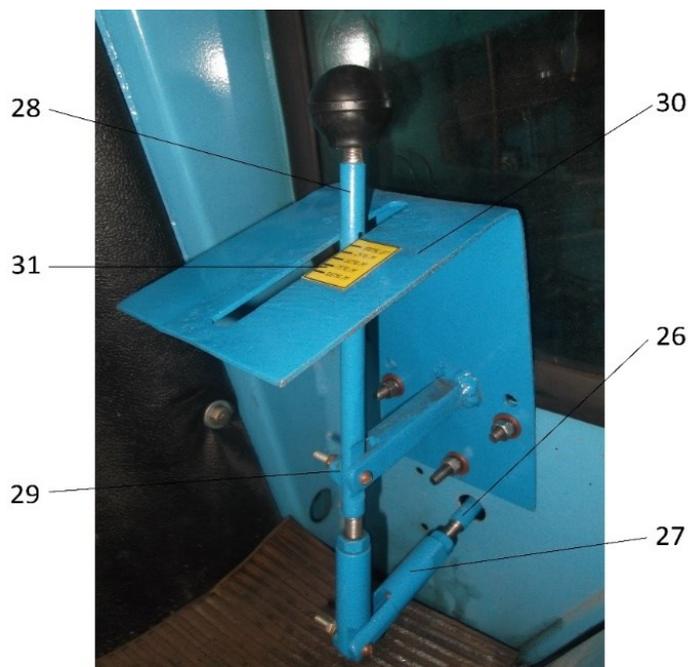


Рис. 1. Схема бинарной топливной системы дизеля (наименование позиций в тексте)

Предлагаемая бинарная система, в случае необходимости, обеспечивает возможность ручного управления соотношением составляющих БМТ. Для этого оператор, перемещая рычаг 28 по сектору 30, устанавливает необходимое соотношение НДТ и РМ в зависимости от величины внешних сопротивлений движению АТС. Таким образом, бинарная топливная система дизелей обеспечивает работу двигателя на БМТ с различным содержанием в нём НДТ и РМ в ручном или автоматическом режимах управления, что существенно расширяет функциональные возможности такой двухтопливной системы питания.

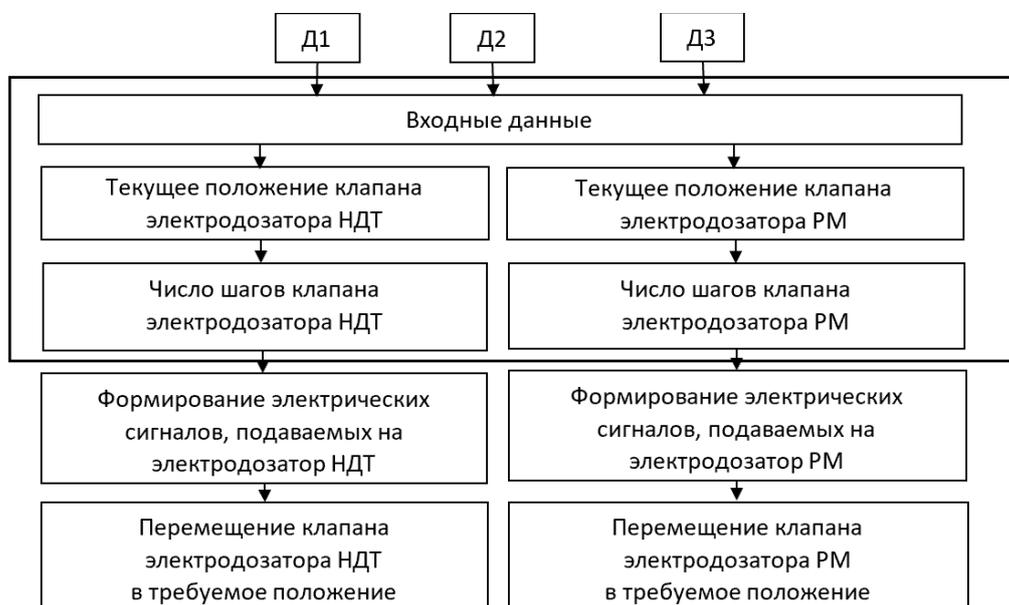
На рисунке 2 показан изготовленный механизм для ручного управления подачей БМТ, выполненный в виде поворотного рычага 28, установленного на оси 29, нижний конец которого шарнирно соединен с компенсирующим звеном 27, соединенным с продольной тягой 26. Рычаг 28 при перемещении по пазам сектора 30 может фиксироваться в требуемых положениях, отмеченных на указателе 31 в виде делений, соответствующих определенным объемным соотношениям растительной и нефтяной составляющей в БМТ.



**Рис. 2. Механизм для ручного управления подачей БМТ** (наименование позиций в тексте)

Блок МБУ изготовлен на базе микроконтроллера, в программу которого закладывается алгоритм работы электродозаторов НДТ и РМ в зависимости от нагрузочного и скоростного режимов и температурных условий эксплуатации АТС. Работа МБУ осуществляется в соответствии с

функциональной схемой формирования электросигналов, представленной на рисунке 3. Первичные сигналы генерируются датчиками Д1-Д3, отслеживающими нагрузочно-скоростной работы дизеля и температуру атмосферного воздуха.



**Рис. 3. Функциональная схема формирования электрических сигналов микропроцессорным блоком управления подачей БМТ**

Сигналы, генерируемые датчиками Д1-Д3, преобразуются и передаются на микроконтроллер МБУ, который обрабатывает получаемые сигналы и определяет число шагов, которые необходимо осуществить для асинхронного перемещения клапанов электродозаторов НДТ и РМ из текущего в требуемое положение. Асинхронное перемещение

клапанов из одного положения в другое способствует изменению пропускной способности впускных каналов электродозаторов НДТ и РМ на разную величину, а следовательно, и изменению соотношения растительной и нефтяной составляющей в БМТ.

На рисунке 4 показаны элементы бинарной топливной системы дизеля: электродозатор –

#### 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)

регулятор холостого хода РХХ 2112-1148300, датчик нагрузочного режима – индуктивный датчик положения рейки ТНВД (микросхема датчика Холла SS494В и неодимовый магнит), датчик скоростного

режима – индуктивный датчик частоты вращения коленчатого вала дизеля и датчик температуры атмосферного воздуха – хромель-копелевая термопара.



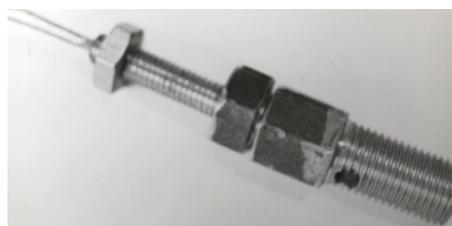
а) электродозатор с тройником



б) микросхема датчика Холла



в) датчик частоты вращения



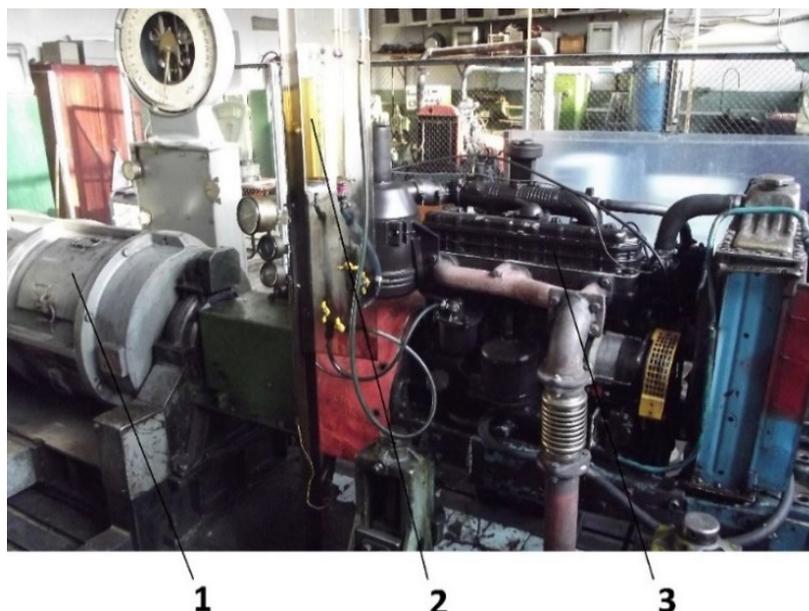
г) датчик температуры

**Рис. 4. Электроэлементы бинарной топливной системы дизеля**

#### Результаты

Для проведения стендовых и эксплуатационных сравнительных исследований дизеля и трактора, оснащенных бинарной топливной системой, были скомплектованы две экспериментальные установки: стендовая и эксплуатационная.

Стендовые исследования дизеля проводились на экспериментальной моторной установке, содержащей тракторный дизель Д-243 (рис. 5), оснащенный бинарной топливной системой, динамометрическую машину KS-56/4 и контрольно-измерительную аппаратуру (манометр, тахометр, расходомер топлива и др.).



**Рис. 5. Моторная установка для исследований дизеля в стендовых условиях: 1 – машина динамометрическая; 2 – расходомер топлива; 3 – дизель**

Сравнительные моторные исследования выполнены при работе дизеля на БМТ следующих составов: 75 % НДТ : 25 % РМ, 50 % НДТ : 50 % РМ, 25 % НДТ : 75 % РМ и 10 % НДТ : 90 % РМ. В качестве растительного компонента БМТ применяли редечное масло – РМ. Результаты стендовых исследований дизеля показывают, что с увеличением содержания редечного масла в БМТ происходит незначительное снижение эффективной мощности и увеличение удельного эффективного расхода топлива. Так, например, при работе на БМТ состава 10 % НДТ : 90 % РМ эффективная мощность дизеля снизилась с 56,1 кВт до 52 кВт (на 7,9 %), удельный эффективный расход топлива повысился с 252,4 г/кВт·ч до 292,3 г/кВт·ч (на 15,8 %), по сравнению с работой дизеля на НДТ. Минимальная дымность отработавших газов отмечается при работе на БМТ состава 50 % НДТ : 50 % РМ и составила 39 %, что на 15,4 % меньше, чем при работе дизеля на НДТ.

Эксплуатационные исследования трактора МТЗ-82 (рис. 6), оснащенного разработанной бинарной топливной системой дизеля, проводились на вспашке в производственных условиях СПК (колхоз) имени Калинина Ульяновской области. Работа трактора осуществлялась в составе пахотного агрегата на товарном летнем нефтяном дизельном топливе ДТ-Л-0,2-62 и смесевом БМТ следующих составов: 75 % НДТ : 25 % РМ, 50 % НДТ : 50 % РМ, 25 % НДТ : 75 % РМ и 10 % НДТ : 90 % РМ. Результаты эксплуатационных исследований тракторного агрегата показывают, что по сравнению с работой дизеля на НДТ при применении БМТ даже с наибольшим содержанием (90 %) в нем редечного масла (10 % НДТ : 90 % РМ) наблюдается незначительное снижение эксплуатационной мощности двигателя (не более чем на 1,3 %) и существенное увеличение погектарного расхода топлива (до 19 %). Наибольшее снижение дымности отработавших газов (на 22,5%) зафиксировано при работе трактора на БМТ состава 50 % НДТ : 50 % РМ.



Рис. 6. Тракторный агрегат для проведения лабораторно-полевых исследований: 1 – мерные баки НДТ и РМ; 2 – смеситель НДТ и РМ

### Обсуждение

Обзор и анализ научной информации показывает, что основными недостатками известных аналогов бинарной топливной системы дизеля являются:

- конструктивная сложность и повышенная трудоемкость монтажа на дизель;
- невозможность автоматической корректировки дозы НДТ и РМ на различных нагрузочных и скоростных режимах работы дизеля, а также в зависимости от температуры окружающего воздуха;
- корректировка дозы НДТ и РМ осуществляется без учёта различия значений величины напора этих компонентов в соответствующих линиях забора, связанного с разницей плотностей компонентов БМТ, что не позволяет более точно обеспечить необходимое соотношение компонентов в БМТ при их смешивании.

Вышеописанная бинарная топливная система дизеля характеризуется простотой конструкции,

доступностью комплектующих изделий, низкой трудоемкостью монтажа на дизель без привлечения исполнителей высокой квалификации. Она обеспечивает высокую точность дозирования компонентов БМТ и бесперебойную работу АТС на двух видах моторного топлива (нефтяном и бионефтяном) в ручном или автоматическом режимах управления подачей БМТ, обладает свойствами многотопливности (всеядности) и универсальности (применимости) по отношению к различным видам дизельных АТС (тракторы, автомобили, комбайны, дорожная и строительная техника и др.), экспериментальное подтверждение возможности работы серийно выпускаемых и находящихся в эксплуатации АТС на традиционном НДТ и альтернативном БМТ видах моторного топлива без вмешательства в конструкцию дизеля.

Конструктивное исполнение предлагаемой бинарной топливной системы дизеля и результаты

экспериментальных исследований в стендовых и эксплуатационных условиях подтверждают возможность работы серийно выпускаемых и находящихся в эксплуатации АТС на традиционном НДТ и альтернативном БМТ видах моторного топлива.

##### Закключение

Экспериментальные исследования подтвердили возможность использования предлагаемой бинарной топливной системы дизелей для работы

АТС на нефтяном и бионефтяном топливе без вмешательства в конструкцию двигателя. Применение бинарной системы обеспечивает качественное смешивание компонентов БМТ, пропорции которых можно в ручном или автоматическом режимах регулировать в зависимости от условий эксплуатации АТС (нагрузка, частота вращения коленчатого вала, температура).

##### Литература

1. Современные тенденции в использовании альтернативных моторных топлив / Б. И. Базаров, К. И. Магдиев, Ф. Ш. Сидиков и др. // *Journal of advanced research in technical science*. 2019. №14-2. С. 186-189.
2. Просвирников, Д. Б. Технология и оборудование переработки активированных сельскохозяйственных растительных отходов в биоэтанол / Д. Б. Просвирников, Д. В. Тунцев, Б. Г. Зиганшин // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2021. Т. 16. № 4(64). С. 59-67. doi:10.12737/2073-0462-2022-59-67
3. Технология получения биогаза из сельскохозяйственных растительных отходов с высокой биодоступностью, активированных методом паровзрывной обработки / Д. Б. Просвирников, Б. Г. Зиганшин, Л. И. Гизатуллина и др. // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2022. Т. 17, № 4(68). С. 90-97. doi: 10.12737/2073-0462-2023-90-97
4. Бузиков Ш. В. Определение эффективности применения смесового топлива в тракторных дизелях // *Вестник транспорта Поволжья*. 2021. № 5 (89). С. 57-62.
5. Лиханов В. А., Козлов А. Н., Арасланов М. И. Работа дизеля на этаноле и рапсовом масле: монография. Киров: Вятская государственная сельскохозяйственная академия. 2018. 172 с. ISBN 978-5-6040852-5-7.
6. Улучшение эксплуатационных свойств дизельных топлив для сельскохозяйственных машин / С. А. Нагорнов, С. Е. Романцова, В. А. Марков и др. // *Аграрный научный журнал*. 2020. № 12. С. 90-92.
7. Просвирников Д. Б., Тунцев Д. В., Зиганшин Б. Г. Технология и оборудование переработки активированных растительных отходов в биоэтанол // *Вестник Казанского государственного аграрного университета*. 2021. Т.16. № 4(64). С. 59-67. doi: 10.12737/2073-0462-2022-59-67.
8. Козлов А. Н., Арасланов М. И. Исследование работы тракторного дизеля на этаноле и рапсовом масле на различных скоростных режимах // *Труды НАМИ*. 2021. № 4(287). С. 53-59
9. Эффективность работы дизельных двигателей тракторов на топливе с биодобавками растительного происхождения: аналитический обзор / И. Г. Голубев, С. А. Нагорнов, А. Н. Зазуля и др. Москва: Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса, 2021. 72 с. ISBN 978-5-7367-1627-2
10. Двухтопливная система питания дизеля / А.П. Уханов, Е.А. Хохлова, Е.А. Сидоров и др. // *Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: сб. материалов 25 Международного науч.-техн. семинара имени Михайлова В.В. Саратов: СГАУ, 2012. С. 272-274.*
11. Улучшение эксплуатационных свойств дизельных топлив для сельскохозяйственных машин / С. А. Нагорнов, С. Е. Романцова, В. А. Марков и др. // *Аграрный научный журнал*. 2020. № 12. С. 90-92.
12. Уханов А. П., Сидоров Е. А., Сидорова Л. И. Работа тракторного дизеля на бионефтяном топливе в режиме холостого хода // *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*. 2023. № 3. С. 63-69.
13. Воздействие ультразвуковой обработки смесового топлива на показатели тракторного дизеля / А.П. Уханов, Ю.В. Уханова, Е.А. Сидоров и др. // *Наука в центральной России*. 2017. № 3 (27). С. 48–56.
14. Физико-химические и эксплуатационные свойства биодизельных и смесевых топлив / А. В. Чернышева, А. Д. Черепанова, Б. И. Колобков и др. // *Наука в центральной России*. 2022. № 5(59). С. 120-133.
15. Совершенствование процессов распыливания и смесеобразования при работе дизеля на смесевых биотопливах / В. А. Марков, А. С. Кулешов, В. А. Неверов и др. // *Двигателестроение*. 2021. № 1. С. 3-12.
16. Патент РФ №2819486 МПК F02M43/00. Двухтопливная система питания автотракторного дизеля с комбинированным управлением подачей смесового топлива / Уханов А. П., Уханов А. Д., Сидоров Е. А., заявитель и патентообладатель Пензенский ГАУ. 2023125639, заяв. 05.10.2023; опубл. 21.05.2024, Бюл. № 15.
17. Патент № 2503491 РФ МПК B01F5/06 Смеситель минерального топлива и растительного масла с активным приводом / Уханов А.П., Уханов Д.А., Сидоров Е.А., Хохлова Е.А.; заявитель и патентообладатель Пензенская ГСХА. №2012128420/05; заяв. 05.07.2012; опубл. 10.01.2014, Бюл. № 1.

##### References

1. Modern trends in usage of alternative motor fuels / B. I. Bazarov, K. I. Magdiev, F. Sh. Sidikov, et al. // *Journal of advanced research in technical science*. 2019. No.14-2. P. 186-189.

2. Prosvirnikov D. B., Tuntsev D. V., Ziganshin B. G. Technology and equipment for processing activated agricultural plant waste into bioethanol // Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2021. Vol. 16. No.4 (64). P. 59-67. doi:10.12737/2073-0462-2022-59-67
3. Technology for producing biogas from agricultural plant waste with high bioavailability, activated by steam explosion treatment / D. B. Prosvirnikov, B. G. Ziganshin, L. I. Gizatullina, et al. // Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2022. Vol. 17, No.4 (68). P. 90-97. doi: 10.12737/2073-0462-2023-90-97
4. Buzikov Sh. V. Specification of the efficiency of using mixed fuel in tractor diesel engines // Vestnik of Transport of the Volga Region. 2021. No.5 (89). P. 57-62.
5. Likhanov V. A., Kozlov A. N., Araslanov M. I. Diesel operation on ethanol and rapeseed oil: monograph. Kirov: Vyatka State Agricultural Academy. 2018. 172 p. ISBN 978-5-6040852-5-7.
6. Improvement of performance properties of diesel fuels for agricultural machinery / S. A. Nagornov, S. E. Romantsova, V. A. Markov, et al. // Agrarian scientific journal. 2020. No.12. P. 90-92.
7. Prosvirnikov D. B., Tuntsev D. V., Ziganshin B. G. Technology and equipment for processing activated plant waste into bioethanol // Vestnik of Kazan State Agrarian University. 2021. Vol. 16. No.4 (64). P. 59-67. doi: 10.12737/2073-0462-2022-59-67.
8. Kozlov A. N., Araslanov M. I. Study of tractor diesel operation on ethanol and rapeseed oil at various speed modes // Proceedings of NAMI. 2021. No.4 (287). P. 53-59
9. Efficiency of tractor diesel engines on fuel with bioadditives of plant origin: an analytical review / I. G. Golubev, S. A. Nagornov, A. N. Zazulya et al. Moscow: Russian Research Institute of Information and Technical and Economic Research on Engineering and Technical Support of the Agro-Industrial Complex, 2021. 72 p. ISBN 978-5-7367-1627-2
10. Dual-fuel diesel fuel system / A. P. Ukhanov, E. A. Khokhlova, E. A. Sidorov, et al. // Problems of efficiency and operation of motor and tractor equipment: collection of materials of the 25th International scientific and technical seminar named after V. V. Mikhailov. Saratov: SSAU, 2012. P. 272-274.
11. Improvement of performance properties of diesel fuels for agricultural machinery / S. A. Nagornov, S. E. Romantsova, V. A. Markov, et al. // Agrarian scientific journal. 2020. No.12. P. 90-92.
12. Ukhanov A. P., Sidorov E. A., Sidorova L. I. Operation of a tractor diesel engine on bio-oil fuel on idle mode // Vestnik of Samara State Agricultural Academy. 2023. No.3. P. 63-69.
13. The impact of ultrasonic treatment of mixed fuel on performance of tractor diesel engines / A. P. Ukhanov, Yu. V. Ukhanova, E. A. Sidorov, et al. // Science in Central Russia. 2017. No.3 (27). P. 48–56.
14. Physical, chemical and operational properties of biodiesel and mixed fuels / A. V. Chernysheva, A. D. Cherepanova, B. I. Kolobkov, et al. // Science in Central Russia. 2022. No.5 (59). P. 120–133.
15. Improvement of the processes of atomization and mixture formation during diesel engine operation on mixed biofuels / V. A. Markov, A. S. Kuleshov, V. A. Neverov, et al. // Engine manufacture. 2021. No.1. P. 3-12.
16. Patent of the Russian Federation No.2819486 IPC F02M43/00. Dual-fuel fuel system for an automotive tractor diesel engine with combined control of the supply of mixed fuel / Ukhanov A. P., Ukhanov A. D., Sidorov E. A., applicant and patent holder Penza State Agrarian University. 2023125639, appl. 05.10.2023; published 21.05.2024, Bull. No.15.
17. Patent of the Russian Federation No.2503491 IPC B01F5/06 Mixer of mineral fuel and vegetable oil with an active drive / Ukhanov A. P., Ukhanov D. A., Sidorov E. A., Khokhlova E. A.; applicant and patent holder Penza State Agricultural Academy. No.2012128420/05; appl. 05.07.2012; publ. 10.01.2014, Bull. No.1.