На правах рукописи

ИВАНОВ АЛЕКСАНДР АЛЕКСЕЕВИЧ

ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА ПРИ РАБОТЕ НА МЕТАНОЛО-РАПСОВОЙ ЭМУЛЬСИИ

Специальность 05.20.01 – технологии и средства механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Тверская государственная сельскохозяйственная академия».

Научный руководитель Шемякин Александр Владимирович

доктор технических наук, доцент

Официальные оппоненты: Данилов Игорь Кеворкович

доктор технических наук, доцент, директор департамента машиностроения и приборостроения инженерной академии ФГАОУ ВО «Российский

университет дружбы народов»

Синицин Павел Сергеевич

кандидат технических наук, доцент, директор ООО

«ТК Силумин» г. Рязань

Ведущая организация Рязанское отделение ФГБНУ ФНАЦ ВИМ г. Рязань

Защита диссертации состоится 28 ноября 2017 года в 10:00 часов на заседании диссертационного совета Д220.057.03 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» по адресу 390044, Рязанская область, г. Рязань, ул. Костычева, д.1, зал заседаний диссертационных советов.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», на сайте: www.rgatu.ru, с авторефератом - на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации www.vak3.ed.gov.ru.

Auf

Автореферат разослан «___» _____ 2017г.

Ученый секретарь диссертационного совета доктор технических наук, доцент

А.В. Шемякин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В условиях нарастающего дефицита энергоносителей и существенного увеличения стоимости всех их видов исключительно актуальными становятся мероприятия по экономии энергоресурсов, внедрению новейших технологий для сбережения и рационального использования моторного топлива. В последнее время все более широкое распространение получают альтернативные биотоплива на основе растительных масел и их производных. Однако ввиду различий физико-химических и энергетических свойств биотоплива и традиционного дизельного топлива (ДТ) использование первых в двигателях выпускаемых серийно и находящихся в эксплуатации весьма ограничено по конструктивным причинам. В качестве альтернативного топлива для дизелей наиболее изучены смесевые топлива, содержащие в качестве биологического компонента метиловый эфир рапсового масла, подсолнечное, рапсовое, сурепное, сафлоровое, горчичное и рыжиковое масла. Сравнительный анализ свойств различных топлив показывает, что одним из перспективных видов биотоплива для дизеля является смесь рапсового масла с легкими альтернативными топливами, представителем которого является алифатический спирт метанол.

Актуальность темы подтверждается Концепцией развития аграрной науки и научного обеспечения агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2025 г. (утв. приказом Минсельхоза России от 25 июня 2007 г. №342), в которой отмечается одним из приоритетных направлений развития аграрной науки и научного обеспечения АПК России в области механизации, электрификации и автоматизации является разработка оборудования с использованием возобновляемых источников энергии, в том числе биотоплива. Наиболее перспективное направление — использование моторного топлива для дизельных двигателей на основе растительных масел.

В связи с этим результаты оценки применения метаноло-рапсовой эмульсии в качестве биологического топлива для дизелей являются актуальными научно и практически значимыми для агропромышленного комплекса России и прочих отраслей, производящих эксплуатацию мобильных дизельных средств с двигателями.

Степень разработанности темы. Результаты исследований по применению биологического топлива для дизелей приведены в научных трудах российских и зарубежных ученых. Однако в этих работах недостаточно полно исследованы вопросы теоретической и практической оценки показателей работы дизеля, которые бы оценивали особенности его работы при использовании метаноло-рапсовой эмульсии в качестве топлива. Кроме того известные на настоящее время технические решения не в полной мере позволяют адаптировать дизельный двигатель для работы на рассматриваемом альтернативном топливе. Поэтому решение данных вопросов требует дальнейших теоретических и экспериментальных исследований.

Работа выполнена по плану НИОКР ФГБОУ ВО «Тверская ГСХА», тема «Улучшение энергетических, экономических, ресурсных и экологических показателей мобильных средств в сельском хозяйстве» (ГРНТИ 68.85.83, 68.85.15, 55.29.29, 12.75.51 № гос. регистрации 01.2.007 04619).

<u>**Цель исследований</u>** - оценка эксплуатационных показателей машиннотракторного агрегата при работе на метаноло-рапсовой эмульсии.</u>

<u>Объект исследований</u> — индикаторные, эффективные, экологические, топливноэкономические показатели работы дизеля Д-242 и эксплуатационные показатели пахотного агрегата (Беларус 572+ПЛН-3-35) при работе на метаноло-рапсовой эмульсии.

<u>Предмет исследований</u> - закономерности изменения индикаторных, эффективных, экологических, топливно-экономических показателей дизеля Д-242 при работе на стенде и в составе пахотного агрегата на метаноло-рапсовой эмульсии.

Научная новизна диссертационной работы:

- рациональное соотношение компонентов в смесевом биологическом топливе, рекомендуемого к применению в качестве моторного топлива для дизелей;

- теоретическое и экспериментальное обоснование применения в дизеле Д-242 метаноло-рапсовой эмульсии по индикаторным, эффективным, экологическим, топливно-экономическим показателям его работы;
- технические решения по конструктивной доработке дизеля Д-242 для работы на метаноло-рапсовой эмульсии;
- оценка влияния применения метаноло-рапсовой эмульсии на эксплуатационные показатели пахотного агрегата.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретически рассмотрено применение метаноло-рапсовой эмульсии в качестве моторного топлива для дизеля МТА в различных соотношениях компонентов. Использование метаноло-рапсовой эмульсии для дизеля МТА в соотношении (27% рапсового масла+67% метанола+6 % масс. эмульгатора) обеспечивает замещение традиционного ДТ на 100% при незначительном уменьшении эффективной мощности до 20%, увеличении удельного эффективного расхода метаноло-рапсовой эмульсии до 18%; уменьшении содержания диоксида углерода в отработавших газах до 7% и концентрации оксидов азота до 25%; незначительном снижении производительности пахотного агрегата за час чистой эксплуатационной мощности по сравнению с применением минерального ДТ, что позволяет рекомендовать ее применение в качестве моторного топлива для дизеля МТА.

С целью конструктивной доработки дизеля МТА для эксплуатации на метанолорапсовой эмульсии предложена двухтопливная система питания с автоматическим выбором вида топлива и регулированием состава биотоплива, позволяющая обеспечить замещение ДТ метаноло-рапсовой эмульсией до 100%.

Методы исследований. Теоретические исследования выполнены с использованием основных положений теории двигателей внутреннего сгорания. Экспериментальные исследования проведены с использованием стандартных и частных методик. За метод исследования принят метод сравнительных стендовых и эксплуатационных исследований дизеля при работе на стандартном ДТ и метанолорапсовой эмульсии. Обработка экспериментальных данных выполнена с применением пакета программ Microsoft Office, PlanExp B-D13 и пр.

Положения, выносимые на защиту:

- рациональное соотношение компонентов в смесевом биологическом топливе, рекомендуемого к применению в качестве моторного топлива для дизелей;
- теоретическое и экспериментальное обоснование применения в дизеле Д-242 метаноло-рапсовой эмульсии по индикаторным, эффективным, экологическим, топливно-экономическим показателям его работы;
- технические решения по конструктивной доработке дизеля Д-242 для работы на метаноло-рапсовой эмульсии;
- оценка влияния применения метаноло-рапсовой эмульсии на эксплуатационные показатели пахотного агрегата.

Вклад автора заключается в постановке задач исследований, в обосновании показателей машинно-тракторного агрегата при работе на метаноло-рапсовой эмульсии, проведении теоретических и экспериментальных исследований, обработке полученных результатов и написании научных статей.

Степень достоверностии апробация работы результатов исследований подтверждается сходимостью результатов сравнительных стендовых испытаний дизеля Д-242 и полевых испытаний пахотного агрегата при использовании стандартного ДТ и метаноло-рапсовой эмульсии, применением проверенных методик определения показателей работы дизельного двигателя.

Основные результаты диссертации доложены и одобрены на Международных научно-практических конференциях ФГБОУ ВО Тверская ГСХА (2007-2016), Международной научно-технической конференции кафедры «Автомобили, тракторы и

технический сервис» Института технических систем, сервиса и энергетики Санкт-Петербургского ГАУ (2013-2017).

<u>Публикации результатов исследований.</u> По результатам исследований опубликовано 9 работ, в том числе 6 статей в рецензируемых изданиях, указанных в «Перечне ... ВАК».

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, шести разделов, заключения, списка использованной литературы из 122 наименований и приложения на 18 с. Общий объем диссертации с приложением составляет 147 с., содержит 39 рис. и 23 табл.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована целесообразность использования биологических топлив в дизелях, актуальность темы. Сформулирована цель исследований. Отражены научные положения, выносимые на защиту. Дана общая характеристика диссертационной работы.

<u>В первом разделе</u> «Анализ состояния вопроса и задачи исследований» приведена практика отечественного и зарубежного опыта по применению альтернативных видов топлива, применения различных топлив на основе растительных масел, способы их получения из растительных масел и особенности их применения, перспективы применения альтернативных видов топлива на основе рапсового масла, способы использования топлив на основе растительных масел в двигателях внутреннего сгорания.

Возможность применения биологического топлива рассмотрена в работах Агдамова И.Ф., Бышова Н.В., Володько О.С., Голубева В.А., Девянина С.Н., Ефанова А.А., Иншакова А.П., Нагорного С.А., Маркова В.А., Семенова В.Г., Сидоровой Л.И., Успенского И.А., Уханова А.П., Уханова Д.А., Duggal V.K., Dorado М.Р., Hatonen Т., Үатапе К. и др. Экологические аспекты применения биологического моторного топлива рассмотрены в работах Баширова Р.М., Бышова Н.В., Васильева И.П., Габитова И.И., Девянина С.Н., Иващенко Н.А., Маркова В.А., Нагорного С.А., Семенова В.Г., Успенского И.А., Уханова А.П., Наtonen Т., Yamane К.и др.

Проанализированы основные достоинства и недостатки биологического топлива для дизельных двигателей. Установлено, что применительно к сельскому хозяйству бесспорный приоритет принадлежит моторному топливу на основе растительных масел. Для условий Российской Федерации наиболее перспективным для использования в качестве топлива для дизелей является рапсовое масло. Получаемое при переработке семян рапсовое масло может быть использовано как самостоятельный вид топлива, в смесях различного состава со стандартным ДТ или переработано в метиловый или этиловый эфиры рапсового масла. Последние, в свою очередь, используются или как самостоятельное биотопливо, или как смесевое (в смеси с дизельным топливом). Перспективным видом биотоплива для дизеля с точки зрения простоты приготовления и использования представляется смесь рапсового масла с легкими альтернативными топливами, использование которой позволит улучшить показатели работы дизелей, находящихся в эксплуатации без существенного изменения конструкции двигателя. Для проведения исследований предлагается использование рапсового масла в виде эмульсии с метанолом. При этом происходит замещение ДТ экологически чистым альтернативным топливом, ресурсы которого возобновляемы и практически не ограничены, что позволяет максимально обеспечить замещение ДТ, не требует значительных затрат на внесение конструктивных изменений в двигатель и может быть реализован на дизельных двигателях, уже находящихся в эксплуатации.

На основании анализа научной и патентной литературы по теме диссертации определены задачи исследования:

1. Оценить отечественный и зарубежный опыт по применению альтернативных видов топлива, применения различных топлив на основе растительных масел для машинно-тракторных агрегатов с дизельными двигателями.

- 2. Теоретически исследовать параметры рабочего цикла и эксплуатационные показатели машинно-тракторного агрегата (МТА) на минеральном ДТ и на метанолорапсовой эмульсии.
- 3. Экспериментально оценить физико-механические свойства эмульсии при различных соотношениях метанола и рапсового масла и характеристики деталей дизельной топливной аппаратуры при работе на метаноло-рапсовой эмульсии, обоснование выбора рационального состава метаноло-рапсовой эмульсии по показателям теоретических расчетов и физико-механических свойств метаноло-рапсовой эмульсии.
- 4. Экспериментально оценить индикаторные, эффективные и экологические показатели МТА, оснащенным дизелем Д-242, при работе на метаноло-рапсовой эмульсии в сравнении со штатным циклом.
- 5. Провести экспериментальные исследования МТА, оснащенным дизелем Д-242, в составе пахотного агрегата при работе на стандартном ДТ и метаноло-рапсовой эмульсии.
- 6. Оценить экономические показатели работы МТА, оснащенным дизелем Д-242, при замещении ДТ метаноло-рапсовой эмульсией.

Во втором разделе «Обоснование параметров рабочего цикла и эксплуатационных показателей машинно-тракторного агрегата при работе на метаноло-рапсовой эмульсии» определено влияние использования метаноло-рапсовой эмульсии в качестве моторного топлива на параметры рабочего цикла и показатели работы дизельного двигателя. Расчет показателей рабочего цикла производился согласно методике предложенной И.И. Вибэ. Особенностью расчета является то, что метаноло-рапсовая эмульсия отличается от ДТ увеличенным содержанием скрытого кислорода в молекулах рапсового масла и метанола, а также меньшей по сравнению с дизельным топливом удельной теплотой сгорания. При расчетах применяется количественный состав соотношения компонентов (рапсовое масло/метанол) – 10:90, 20:80, 30:70, 40:60, 50:50. Для оценки влияния метаноло-рапсовой эмульсии на индикаторные и эффективные показатели работы дизеля МТА, проанализированы основные факторы, влияющие на его эффективную мощность.

Теоретически необходимое количество воздуха для полного сгорания одного кг метаноло-рапсовой эмульсии определяется по следующему выражению:

$$l_0 = \frac{1}{0.21} \times \left(\frac{8}{3} \left(\frac{a \cdot C^{PM} + b \cdot C^M}{12} \right) + 8 \left(\frac{a \cdot H^{PM} + b \cdot H^M}{4} \right) - \left(\frac{a \cdot O^{PM} + b \cdot O^M}{32} \right) \right), \tag{1}$$

где C^{PM} , H^{PM} и O^{PM} — суммарная доля углерода, водорода и кислорода в рапсовом масле; C^{M} , H^{M} и O^{M} — суммарная доля углерода, водорода и кислорода в метаноле; а — массовая доля рапсового масла в составе эмульсии; b — массовая доля метанола в составе эмульсии.

Общую удельную использованную теплоту сгорания вычислим по формуле:

$$q_Z = \frac{\xi \cdot (a \cdot Q_{HII3}^{PM} + b \cdot Q_{HII3}^M)}{(1+\gamma) \cdot \alpha \cdot l_0 + 1}, \qquad (2)$$

где $Q_{H\!H\!H}^{P\!M}$ — низшая теплотворная способность рапсового масла, кДж/кг; $Q_{H\!H\!H}^{M}$ — низшая теплотворная способность метанола, кДж/кг; α — коэффициент избытка воздуха; γ — коэффициент остаточных газов.

Давление газов в процессе сгорания определим для каждых 2,5° поворота коленчатого вала по формуле:

$$P_{2} = \frac{E_{2} \cdot \Delta X_{1-2} + P_{1} [k_{1-2} \cdot \psi(\alpha_{1}) - \psi(\alpha_{2})]}{k_{1-2} \cdot \psi(\alpha_{2}) - \psi(\alpha_{1})},$$
(3)

где E_2 — постоянная; ΔX_{1-2} — доля топлива, сгоревшего на участке; k_{1-2} — фактор теплоемкости рабочего тела; $\psi(\alpha_{1,2})$ — функция положения коленчатого вала.

Постоянная Е2 рассчитывается по формуле:

$$E_2 = 0.854 \cdot \frac{\varepsilon}{V_A} \cdot q_Z, \tag{4}$$

где ϵ –степень сжатия; V_A – удельный объем рабочего тела в конце сжатия, м 3 /кг.

Максимальное значение действительного коэффициента молекулярного изменения вычисляется по формуле:

$$\beta_{MAX} = \frac{\mu_{B} \cdot \left(\frac{a \cdot H^{PM} + b \cdot H^{M}}{4} + \frac{a \cdot O^{PM} + b \cdot O^{M}}{32}\right)}{\alpha \cdot l_{0}}.$$
 (5)

Наибольшую быстроту нарастания давления рассчитаем по формуле:

$$\omega = \frac{P_i + P_{i-1}}{2.5} \,. \tag{6}$$

Давление P_B и температура T_B рабочего тела для условного конца расширения вычислим по формулам:

$$P_B = \left(\frac{V_Z}{V_A}\right)^{n_2} \cdot P_Z,\tag{7}$$

$$T_B = \left(\frac{V_Z}{V_A}\right)^{n_2 - 1} \cdot T_Z, \tag{8}$$

где n_2 – показатель политропы расширения; P_Z – давление рабочего тела в конце сгорания, МПа; T_Z – температура рабочего тела в конце сгорания, K; V_Z – удельный объем рабочего тела в конце сгорания, $M^3/K\Gamma$.

Абсолютную работу газов в политропном процессе «чистого» сжатия определим по формуле:

$$l_{AY} = \frac{1}{n_1 - 1} (P_Y \cdot V_Y - P_A \cdot V_A), \tag{9}$$

Абсолютную работу газов процесса сжатия при сгорания определим по формуле:

$$l_{YC} = \frac{(\xi - 1) \cdot V_A}{4\xi} \left[\sigma_Y - \sigma_{Y+1} \cdot P_Y + \sum_{i=y}^{i=c-2} (\sigma_i - \sigma_{i+2}) \cdot P_{i+1} + \sigma_{C-1} \cdot P_C \right], \tag{10}$$

где σ-кинематическая функция хода поршня.

Абсолютную работу газов в процессе расширения при сгорании найдем по формуле:

$$l_{CZ} = \frac{(\xi - 1)V_A}{4\xi} \left[\sigma_{C+1} \cdot P_C + \sum_{i=c}^{i=z-2} (\sigma_{i+2} - \sigma_i) \cdot P_{i+1} + (\sigma_Z - \sigma_{Z-1}) \cdot P_Z \right]. \tag{11}$$

Абсолютная работа газов в процессе «чистого» политропического расширения определяется по формуле:

$$l_{ZB} = \frac{1}{n_2 - 1} (P_Z \cdot V_Z - P_B \cdot V_B), \qquad (12)$$

где P_B — давление рабочего тела в конце расширения, МПа; T_B — температура рабочего тела в конце расширения, K; V_B — удельный объем рабочего тела в конце расширения, $M^3/\kappa\Gamma$.

Величина работы теоретического цикла равна работе расширения, уменьшенной на работу сжатия газов:

$$l_{iTEOP} = l_{CZ} + l_{ZB} - l_{AY} - l_{YC}. (13)$$

Среднее индикаторное давление цикла:

$$P_{iTEOP} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{l_{iTEOP}}{V_A}. \tag{14}$$

Индикаторный коэффициент полезного действия цикла:

$$\eta_{iTEOP} = \frac{\xi \cdot l_{iTEOP}}{427 \cdot q_z} \,. \tag{15}$$

Удельный индикаторный расход топлива:

$$g_{iTTEO} = \frac{632}{\eta_{iTTEO} \cdot (a \cdot Q_{HII3}^{PM} + b \cdot Q_{HII3}^{M})}.$$
 (16)

Средняя скорость поршня $W_{\Pi,CP}$., м/с:

$$W_{II.CP.} = \frac{115 \cdot n}{3 \cdot 10^4}. \tag{17}$$

Среднее давление механических потерь Р_{М.П.} МПа:

$$P_{M.\Pi} = 0.105 + 0.012 \cdot W_{\Pi.CP}. \tag{18}$$

Среднее эффективное давление Ре, МПа:

$$P_e = P_i - P_{M,\Pi_e}. \tag{19}$$

Механический КПД η_M :

$$\eta_M = \frac{P_e}{P_i}. (20)$$

Эффективный КПД ηе:

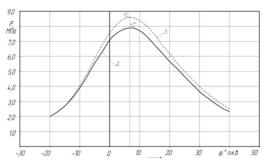
$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_M \,. \tag{21}$$

Эффективная мощность Ne, кВт:

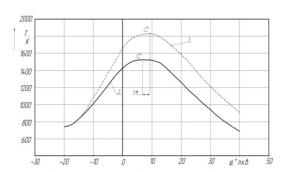
$$N_e = \frac{P_e \cdot n \cdot 4,75}{120} \,. \tag{22}$$

Анализ расчетных индикаторных диаграмм дизеля МТА (рисунок 1) при работе на метаноло-рапсовой эмульсии (соотношение компонентов 30:70) показывает увеличение периода задержки воспламенения на 2,5° п.к.в., что объясняется меньшей испаряемостью эмульсии, отмечается снижение величины максимального давления с 8,53 МПа до 7,89 МПа, т.е. на 7,5% без смещения по углу п.к.в., выявлено также уменьшение площади индикаторной диаграммы на 5,8% при работе на эмульсии, что является следствием меньшей удельной теплоты сгорания эмульсии по сравнению с ДТ.

При анализе характера протекания индикаторных диаграмм отмечается уменьшение скорости нарастания давления с 0,379 МПа/°п.к.в. до 0,339 МПа/°п.к.в., что составляет 11,7%. Анализируя диаграммы изменения температуры цикла, следует отметить снижение максимальной температуры цикла с 1845 К до 1652 К, т.е. на 10,5%, что способствует снижению тепловых нагрузок на детали двигателя и увеличению его ресурса, и связано с меньшей удельной теплотой сгорания эмульсии по сравнению с ДТ. Также произошло смещение точки достижения максимальной температуры ближе к ВМТ на 2,5° п.к.в.



а – расчетная индикаторная диаграмма в координатах Р – ф



б – расчетная индикаторная диаграмма в координатах Т - ф

Рисунок I — Расчетные индикаторные диаграммы работы дизеля MTA на ДТ и метаноло-рапсовой эмульсии (соотношение 30:70)

В таблице 1 приведены основные расчетные индикаторные и эффективные показатели дизеля Д-242, входящий в конструкцию МТА, при работе на метанолорапсовой эмульсии в сравнении с дизельным топливом.

Tаблица 1- Pасчетные индикаторные и эффективные показатели дизеля MTA при

работе ДТ и метаноло-рапсовой эмульсии

Personne Ar armenten	parome AI a memanono paneosoa smynocan							
Наименование	Единица	ДТ	Метаноло-рапсовая эмульсия					
параметра	измерения		10:90	20:80	30:70	40:60	50:50	
Теоретически	КГ	14,45	13,01	13,18	13,35	13,51	13,68	
необходимое								
количество								
воздуха для								
полного сгорания								
одного кг топлива								
Удельный								
индикаторный	г/(кВт·ч)	206	261	262	265	276	295	
расход топлива								
Среднее								
эффективное	МПа	0,660	0,549	0,539	0,524	0,484	0,434	
давление								
Эффективная	кВт	47,0	39,1	38,4	37,1	34,5	30,9	
мощность								

Из анализа данных таблицы 1 следует, что при работе дизельного двигателя на метаноло-рапсовой эмульсии с соотношением компонентов 30:70 по сравнению со штатным циклом увеличивается удельный индикаторный расход топлива с 206 г/(кВт·ч) до 265 г/(кВт·ч) (на 28%); среднее эффективное давление снижается с 0,660 МПа до 0,524 МПа (на 20%); эффективная мощность снижается с 47,0 кВт до 37,1 кВт (на 20,1%).

<u>В третьем разделе</u> «Методика экспериментальных исследований» описаны общая программа и методики исследований физико-механических свойств метаноло-рапсовой эмульсии; безмоторных испытаний дизельной топливной аппаратуры при работе на метаноло-рапсовой эмульсии; экспериментальных стендовых исследований дизеля МТА; исследования пахотного агрегата в эксплуатационных условиях при работе на традиционном ДТ и метаноло-рапсовой эмульсии.

Программа исследований включает в себя:

- лабораторные исследования по определению вязкости и стабильности метанолорапсовой эмульсии в соотношении компонентов 50:50; 40:60; 30:70; 20:80; 10:90.
- безмоторные испытания дизельной топливной аппаратуры для определения цикловой подачи и производительности в условиях скоростной и регуляторной характеристик.
- сравнительные стендовые исследования дизеля MTA на обкаточно-тормозном стенде при работе на стандартном ДТ и метаноло-рапсовой эмульсии.
- эксплуатационные исследования колесного трактора Беларус 572 в составе пахотного агрегата на ДТ и метаноло-рапсовой эмульсии.

Лабораторные исследования предусматривали оптимизацию количественного и качественного состава метаноло-рапсовой эмульсии с целью получения максимально стабильной по времени эмульсии. Способом достижения поставленных целей является подбор оптимального количества эмульгатора - алкенилсукцинимид. Экспериментальная установка включает в себя электронные весы AD-1, гомогенизатор, емкость для приготовленного топлива, вискозиметр капиллярный стеклянный ВПЖ-4, секундомер СДСпр-1-2.

Безмоторные испытания дизельной топливной аппаратуры предусматривают определение характеристик топливного насоса высокого давления: цикловой подачи и производительности в условиях скоростной и регуляторной характеристик. Экспериментальная установка включает в себя стенд КИ-921М, переоборудованный для работы с метаноло-рапсовой эмульсией, и комплекс измерительной аппаратуры.

Стендовые моторные исследования предусматривают определение индикаторных, эффективных и экологических показателей работы дизеля в условиях регуляторной характеристики (диапазон частот вращения коленчатого вала от 1650 мин⁻¹ до 1850 мин⁻¹ при штатных регулировках топливной аппаратуры) при работе на стандартном ДТ и метаноло-рапсовой эмульсии. Экспериментальная установка включает в себя обкаточнотормозной стенд КИ-5985П, дизель Д-242 (входящий в конструкцию МТА), газоанализатор «АВТОТЕСТ», датчик температуры отработавших газов; датчик температуры воздуха на впуске; потенциомер КСП-4; измерительный насадок с микроманометром;преобразователь считывания момента; динамометр; аналого-цифровой преобразователь «SIGMA»; дымомер «ИНФРАКАР»; датчик давления ДДГ - 160/600; датчик положения коленчатого вала; датчик верхней мертвой точки.

При проведении стендовых исследований дизеля МТА при помощи данной экспериментальной установки измерялись и регистрировались следующие параметры: частота вращения коленчатого вала дизеля, положение коленчатого вала дизеля относительно верхней мертвой точки, момент впрыска топлива относительно положения коленчатого вала дизеля, давление в камере сгорания, температура отработавших газов, температура воздуха на впуске, температура моторного масла и охлаждающей жидкости, содержание в отработавших газах оксидов углерода, диоксида углерода, углеводородов, оксидов азота, дымность отработавших газов, нагрузка на тормозном механизме, расход ДТ и метаноло-рапсовой эмульсии.

При проведении экспериментальных исследований используется дизельное топливо $\Pi - 0.2 - 45$ ГОСТ305 - 82, моторное масло M - 10 Г2К ГОСТ 17479.1 - 85, рекомендованные для данного типа дизелей. Компонентами метаноло-рапсовой эмульсии являются рапсовое масло (ГОСТ 8988-2002) и метанол технический (ГОСТ 2222-95) в соотношении 30:70. Результаты измерений заносились в протокол испытаний в трехкратной повторности на различных режимах работы дизеля.

Исследования трактора в составе пахотного агрегата (Беларус 572+ПЛН-3-35) производились на вспашке в ОАО «Зверохозяйство Мелковское» Тверской области. Оценка показателей работы пахотного агрегата, работающего на метаноло-рапсовой эмульсии осуществлялась путем сравнения с показателями трактора, работающего на стандартном ДТ. За оценочные показатели трактора были приняты рабочая скорость трактора, погектарный расход топлива и производительность пахотного агрегата.

В четвертом разделе «Результаты экспериментальных исследований» приведены и проанализированы результаты лабораторных исследований по показателям стабильности и вязкости метаноло-рапсовой эмульсии. В рамках планирования эксперимента произведен расчет плана эксперимента по выбранным изменяемым показателям, определены коэффициенты уравнения математической модели, проведена статистическая оценка адекватности математической модели, построены диаграммы изолиний с возможностью выявления точки экстремума. Рассматриваемый эксперимент определен как полный трехфакторный эксперимент. Получены уравнения математической модели с учетом всех изменяющихся показателей и с учетом постоянного показателя – кратности гомогенизации. Влияние концентраций эмульгатора на стабильность эмульсии показано на рисунке 2. Показатели стабильности метаноло-рапсовой эмульсии при различном содержании метанола и рапсового масла изменяются от 51 минуты (состав метанол 10% масс., рапсовое масло – 90% масс.) до 27 минут (состав метанол 40% масс., рапсовое масло – 60% масс.). Выявлена прямая зависимость времени стабильности метаноло-

рапсовой эмульсии от роста количества вводимого эмульгатора и обратную зависимость содержанию метанола.

$$Y = 17,391 + 13,481 \cdot X_1 + 0,8 \cdot X_2 + (-6,068) \cdot X_3 + 7,082 \cdot X_1^2 + 0,836 \cdot X_2^2 + (-2,331) \cdot X_3^2 + (-2,169) \cdot X_1 \cdot X_2 + (-5,81) \cdot X_1 \cdot X_3 + 1,206 \cdot X_2 \cdot X_3,$$
 (23)

где X_1 - концентрация эмульгатора (%); X_2 - кратность гомогенизирования; X_3 - концентрация метанола в составе эмульсии (%); Y – время стабильности метанолорапсовой эмульсии (мин).

Анализ результатов планирования эксперимента показывает значимость полученной модели по критерию Стьюдента и адекватность уравнения модели по критерию Фишера, и, как следствие, применимость для решения производственно-рецептурных задач. Экстремуму функции отклика уравнения модели соответствуют значения факторов: концентрация эмульгатора — 5,376 %, содержание метанола 29,38 %, кратность гомогенизации — 3. Время стабильности эмульсии при этих значениях составит 14,513 минут. По результатам экспериментальных исследований физико-механических свойств метаноло-рапсовой эмульсии определена вязкость эмульсии при различном содержании метанола и рапсового масла.

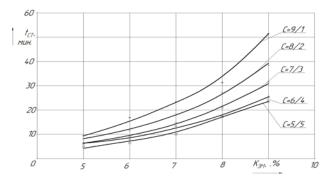


Рисунок 2 - Влияние концентраций эмульгатора на стабильность метаноло-рапсовой эмульсии

Вязкость эмульсии при различном содержании метанола и рапсового масла изменяется от 11,84 сСт (состав метанол 10% масс., эмульгатор -5% масс.) до 2,98 сСт (состав метанол 40% масс., эмульгатор -9% масс.).

Исходя из полученных результатов максимально приближенным к свойствам стандартного дизельного топлива является состав эмульсии в композиции: метанол 27% масс., эмульгатор — 6 % масс. Данный состав обладает вязкостью 5,79 сСт, соответствующую вязкости летнего дизельного топлива по ГОСТ 305-82 (3-6 сСт) и имеет приемлемую стабильность готового продукта, равную 13 минутам. На данной композиции проведены дальнейшие испытания топливного насоса высокого давления.

Безмоторные испытания дизельной топливной аппаратуры предусматривают определение характеристик топливного насоса высокого давления: цикловой подачи и производительности в условиях скоростной и регуляторной характеристик. В ходе испытаний сняты регуляторная и скоростная характеристики топливного насоса высокого давления при работе на дизельном топливе и метаноло-рапсовой эмульсии, представленные на рисунках 3 и 4.

Установлена аналогичность характера зависимостей и снижение величины цикловой подачи с 59 см³/цикл до 55 см³/цикл (на 6,8%) на дизельном топливе и на метаноло-рапсовой эмульсии на номинальной частоте вращения в условиях регуляторной характеристики. Определено уменьшение цикловой подачи с 30 см³/цикл до 24,5 см³/цикл (на 18,3%) при работе на метаноло-рапсовой эмульсии по сравнению с характеристикой, снятой на дизельном топливе в условиях скоростной характеристики.

Стендовые моторные исследования предусматривают определение эффективных и экологических показателей работы дизеля в условиях регуляторной характеристики при работе на стандартном ДТ и метаноло-рапсовой эмульсии.

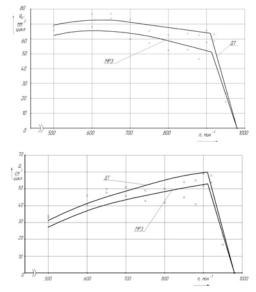


Рисунок 3 - Регуляторные характеристики топливного насоса высокого давления 4УТН-М

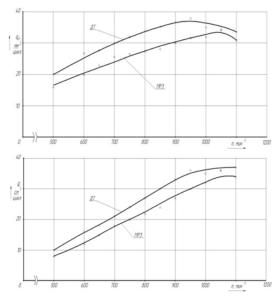


Рисунок 4 — Скоростные характеристики топливного насоса высокого давления 4УТН-М

В ходе эксперимента записаны значения давления газов в цилиндре при работе на ДТ и эмульсии, на основании которых построены сравнительные индикаторные диаграммы (рисунок 5).

Анализ индикаторных диаграмм дизеля МТА показывает снижение величины максимального давления с 8,53 МПа до 7,89 МПа, то есть на 7,5%., выявлено также уменьшение площади индикаторной диаграммы на 5,8% при работе на эмульсии, что является следствием меньшей удельной теплоты сгорания эмульсии по сравнению с ДТ.

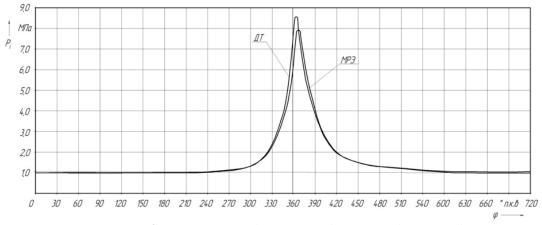
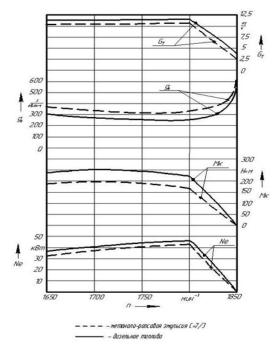


Рисунок 5 - Сравнительные индикаторные диаграммы дизеля МТА

Результаты исследования эффективных показателей в условиях регуляторной характеристики представлены на рисунке 6.

Анализируя экспериментальные данные, следует отметить, что на номинальном режиме эффективная мощность при работе на метаноло-рапсовой эмульсии уменьшилась с 48 кВт до 43 кВт (на 11%). Удельный эффективный расход увеличился с 260 г/ кВт·ч до 320 г/кВт·ч (на 18 %). Ухудшение показателей связано с уменьшением часового расхода топлива с 12 кг/ч до 10,5 кг/ч (на 12,5%) вследствие большей вязкости и меньшей теплотворной способностью метаноло-рапсовой эмульсии по сравнению с ДТ.



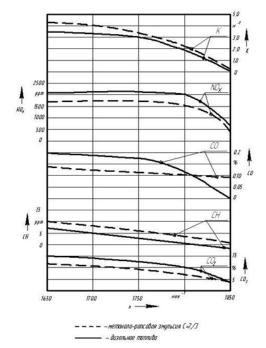


Рисунок 6 – Регуляторная характеристика дизеля MTA

Рисунок 7 - Экологические показатели работы дизеля MTA

По экологическим показателям работы дизеля МТА получены зависимости, представленные на рисунке 7. Анализ результатов исследований показал, что при использовании метаноло-рапсовой эмульсии в качестве топлива экологические показатели в целом улучшились. Так, на номинальном режиме содержание CO_2 в отработавших газах уменьшилась с 10 % до 7 % при увеличении концентрации углеводородов СН с 0 до 4 ррм. Содержание СО при работе на метаноло-рапсовой эмульсии составляет 0,09 %, что на 40% ниже, чем при работе на ДТ (0,15%). Концентрация NO_x при использовании ДТ составляет более 2000 ррм, а содержание NO_x при работе на эмульсии - 1500 ррм. Наименьший показатель дымности (1,9м $^{-1}$) соответствует использованию ДТ, а при использовании метаноло-рапсовой эмульсии показатель дымности (К) составил 2,2 м $^{-1}$.



Рисунок 8 – Экспериментальный пахотный агрегат

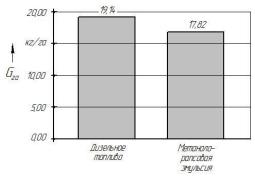
Эксплуатационные показатели трактора с дизелем МТА при работе (рисунок 8) в составе пахотного агрегата (Беларус 572+ПЛН 3-35) показывают увеличение погектарного расхода топлива (рисунок 9) с 17,92 кг/га (на стандартном ДТ) до 19,14 кг/га (на метаноло-рапсовой эмульсии).

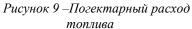
Производительность за час чистой работы тракторного агрегата при работе на метаноло-рапсовой эмульсии (рисунок 10) снижается до 1,01га/ч с 1,03 га/ч при работе на стандартном ДТ. Параметры вспашки: рабочая скорость движения на основных операциях, - 9 км/ч, ширина захвата плуга - 1,05 м; глубина пахоты - 20 см, тип почвы – дерново-подзолистая, супесчаная.

Погектарные затраты на топливо (рисунок 11) снижаются с 227,6 руб./га при работе на стандартном ДТ до 223,9 руб./га – на

метаноло-рапсовой эмульсии.

<u>В пятом разделе</u> «Экспериментальная двухтопливная система питания для адаптации дизеля машинно-тракторного агрегата» описана двухтопливная система питания дизеля с автоматическим выбором вида топлива и регулированием состава биотоплива, позволяющая обеспечить замещение ДТ метаноло-рапсовой эмульсией до 100%.





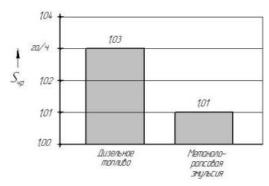


Рисунок 10 – Производительность за час чистой работы

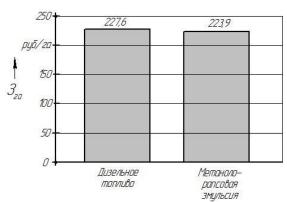


Рисунок 11 –Погектарные затраты на топливо

Предлагаемая двухтопливная система питания дизеля МТА с автоматическим регулированием состава биотоплива, представленная на рисунке, позволит использовать метаноло-рапсовую эмульсию в качестве моторного топлива для дизелей. Эта система позволяет обеспечить максимальное замещение дизельного топлива, не требует значительных затрат на внесение конструктивных изменений в дизель и может быть реализована на дизелях, уже находящихся в эксплуатации.

Двухтопливная система питания дизеля (рисунок 12) содержит бак стандартного дизельного топлива 1, бак рапсового масла 2, бак метанола 3, линию забора дизельного топлива 4, состоящую из фильтра грубой очистки 5 и трехходового крана 6, линию забора рапсового масла 7, состоящую из насоса 8 и дозатора 9, линию забора метанола 10, состоящую из насоса 11 и дозатора 12, линию приготовления метаноло-рапсовой эмульсии 13, состоящей из датчика состава метаноло-рапсовой эмульсии 14, фильтра грубой очистки 15, бака метаноло-рапсовой эмульсии 16, датчика уровня метанолорапсовой эмульсии 17, насоса 18 и трехходового крана 19, линии впрыскивания топлива 20, содержащей подкачивающий насос 21, фильтр тонкой очистки топлива 22; топливного насоса высокого давления 23 и форсунок 24, электронную систему управления и применения метаноло-рапсовой эмульсии 25, состоящей микроконтроллера 26, датчика температуры охлаждающей жидкости двигателя 27, датчика уровня метаноло-рапсовой эмульсии 17, датчика состава метаноло-рапсовой эмульсии 14, трехходовых кранов 6 и 19, насосов 8, 11 и 18 и дозаторов 9 и 12.

Работает двухтопливная система питания дизеля МТА следующим образом.

Пуск двигателя и его прогрев осуществляется на дизельном топливе. При этом трехходовой кран 6 переключен в положение «Дизельное топливо». Одновременно с пуском дизеля микроконтроллер 26 подает управляющий сигнал на включение насосу 18 на включение. Трехходовой кран 19 находится в положении «Циркуляция». Находящаяся в баке 16 метаноло-топливная эмульсия, перекачивается насосом 18 и гомогенизируется.

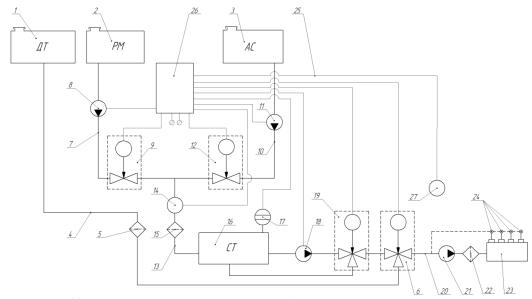


Рисунок 12 - Двухтопливная система питания дизеля MTA с автоматическим приготовлением метаноло-топливной эмульсии и переключения вида топлива (наименования позиций по тексту)

рабочей температуры, При достижении двигателем датчик температуры охлаждающей жидкости 27 подает сигнал в микроконтроллер 26, который подает сигнал для перевода трехходового крана 19 в положение «Подача» и трехходового крана 6 в положение «Эмульсия». Далее работа дизеля осуществляется на метаноло-рапсовой эмульсии. При низком уровне метаноло-рапсовой эмульсии в баке 16, датчик уровня метаноло-рапсовой эмульсии 17 подает сигнал на микроконтроллер 26, который, в свою очередь, подает управляющий сигнал на включение насосов 8 и 11, а также дозаторов 9 и 12. Датчик состава метаноло-рапсовой эмульсии 14, оценивая содержание спиртового компонента в метаноло-рапсовой эмульсии, подает информацию микроконтроллеру 26, который основываясь на ней, регулирует работу дозаторов 9 и 12. Приготовленная метаноло-рапсовая эмульсия, проходя через фильтр 15, попадает в бак 16. При достижении необходимого уровня метаноло-рапсовой эмульсии в баке 16, датчик уровня 17 подает сигнал на микроконтроллер 26, который, в свою очередь, подает управляющий сигнал на выключение насосов 8 и 11, а также дозаторов 9 и 12.

В случае, когда уровень в баке 16 не повышается, например, в результате выхода из строя насоса 8 или 11, при выработке рапсового масла и метанола в баках 2 и 3, микроконтроллер 26 подает сигнал на выключение насоса 18 и перевод трехходового крана 6 в положение «Дизельное топливо».

Таким образом, предлагаемая двухтопливная система питания дизеля МТА позволяет осуществлять автоматическое приготовление метаноло-рапсовой эмульсии с оперативным регулированием состава метаноло-рапсовой эмульсии, а также переключать в автоматическом режиме с одного вида топлива на другое.

В шестом разделе «Технико-экономическая оценка применения метанолорапсовой эмульсии». Анализируя её данные эколого-экономического расчета, следует отметить снижение годового эколого-экономического ущерба на 24,3%, что связано со снижением эмиссии оксидов азота в окружающую среду. Затраты на переоборудование дизеля МТА составили 19280 руб., в состав которых входят затраты на дополнительное оборудование - 14280 руб. и оплату труда рабочих – 5000 руб. Удельный стоимостной расход топлива снизился на 2%, что связано с меньшей стоимостью одного килограмма эмульсии. Годовой экономический эффект от применения в качестве топлива метанолорапсовой эмульсии составляет 235249,6 рублей на один машинно-тракторный агрегат.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- 1. При оценке отечественного и зарубежного опыта по применению альтернативных видов топлива выявлен перспективный вид биотоплива для МТА с точки зрения простоты приготовления и использования смесь рапсового масла с легкими альтернативными топливами, использование которой позволит улучшить показатели работы дизелей, находящихся в эксплуатации без существенного изменения конструкции двигателя. Для проведения исследований предлагается использование рапсового масла в виде эмульсии с метанолом.
- 2. Теоретически определено, что при работе дизеля МТА на метаноло-рапсовой эмульсии по сравнению со штатным циклом увеличивается удельный индикаторный расход топлива с 206 г/(кВт·ч) до 265 г/(кВт·ч) (на 28%); среднее эффективное давление снижается с 0,660 МПа до 0,524 МПа (на 20%); эффективная мощность снижается с 47,0 кВт до 37,1 кВт (на 21,1%).
- 3. Экспериментально определены физико-механические свойства метанолорапсовой эмульсии: вязкость и время стабильности. Максимально приближенным к свойствам стандартного ДТ является состав эмульсии в композиции: метанол 27% масс., эмульгатор 6 % масс. Установлена аналогичность характера зависимостей и снижение величины цикловой подачи топливного насоса высокого давления на 6,8% на ДТ и на метаноло-рапсовой эмульсии на номинальной частоте вращения в условиях регуляторной характеристики. Определено уменьшение цикловой подачи на 18,3% при работе на метаноло-рапсовой эмульсии по сравнению с характеристикой, снятой на ДТ в условиях скоростной характеристики.
- 4. Экспериментально получены значения показателей работы дизеля МТА: эффективная мощность при работе на метаноло-рапсовой эмульсии уменьшилась на 11%, удельный эффективный расход увеличился на 18 %, уменьшился часовой расход топлива на 12,5%; содержание СО2 в отработавших газах уменьшилась на 30% при увеличении концентрации углеводородов СН с 0 до 4 ррм, содержание СО при работе на метанолорапсовой эмульсии снизилось на 40%, концентрация NOx при работе на эмульсии снизилась на 25%.
- 5. В результате проведения экспериментальных исследований пахотного агрегата установлено, что увеличился погектарный расход топлива с 16,82 кг/га (на ДТ) до 19,14 кг/га (на метаноло-рапсовой эмульсии); производительность за час чистой работы тракторного агрегата при работе на метаноло-рапсовой эмульсии снизилась до 1,01 га/ч с 1,03 га/ч при работе на стандартном ДТ; погектарные затраты на топливо снизились с 227,6 руб./га при работе на стандартном ДТ до 223,9 руб./га на метаноло-рапсовой эмульсии.
- 6. В результате проведения расчета установлено, что годовой экологоэкономический ущерб при применении метаноло-рапсовой эмульсии в качестве моторного топлива снизился на 24,3%. Годовой экономический эффект от применения в качестве топлива метаноло-рапсовой эмульсии составляет 235249,6 рублей.

Рекомендации производству

- 1. Метаноло-рапсовую эмульсию в соотношении: метанол 27% масс., рапсовое масло 67% масс., 6% масс.эмульгаторарекомендуется использовать при эксплуатации трактора с дизелем Д-242 на производствах, не требующих полной мощности двигателя.
- 2. Метаноло-рапсовую эмульсию метанол 27% масс., рапсовое масло 67 % масс., 6 % масс. эмульгатора рекомендуется использовать при эксплуатации трактора с дизелем Д-242 на работах в производствах, накладывающих экологические ограничения по составу отработавших газов.

Перспективы дальнейшей разработки темы

В дальнейшей перспективе научных исследований необходимо продолжить работу в направлении регулировочных параметров дизельной топливной аппаратуры для работы дизеля Д-242, входящего в конструкцию МТА, на метаноло-рапсовой эмульсии.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Публикации в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК

- 1. Иванов, А.А. Анализ способов применения биологических видов топлива в дизельных двигателях / Шемякин А.В., Иванов, А.А. // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. − 2017. − № 3 (35). − С. 125−130.
- 2. Иванов, А.А. Двухтопливная система питания дизельного двигателя / А.А. Иванов // Международный технико-экономический журнал. 2017. №3. С. 69-73.
- 3. Иванов, А.А. Влияние применения метаноло-рапсовой эмульсии на эффективные и экологические показатели работы дизеля Д-242 / А.А Иванов, М.В. Никифоров, Е.В. Копаев // Улучшение эксплуатационных показателей и технический сервис автомобилей, тракторов и двигателей: сборник научных трудов Международной научнотехнической конференции кафедры «Автомобили, тракторы и технический сервис» Института технических систем, сервиса и энергетики. СПб. : Изд-во СПбГЭУ, 2015. С. 94-97.
- 4. Иванов, А.А. Экспериментальные характеристики дизеля Д-242 при работе на метаноло-рапсовой эмульсии / Горбатенков А.И., Иванов А.А. // Известия Международной академии аграрного образования. Т. 4. -2013 № 16 С. 66-69.
- 5. Иванов, А.А. Экономическая эффективность использования метаноло-рапсовой эмульсии как альтернативного топлива для дизеля Д-242 с точки зрения экологической безопасности / А.А. Иванов, В.С. Андрощук // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного универститета. СПб. : Изд-во СПбГАУ, 2017. С. 160-162.
- 6. Иванов, А.А. Выбор состава метаноло-рапсовой эмульсии для ее использования в качестве топлива дизеля Д-242 / А.А. Иванов, Ю.А. Панов // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного универститета. СПб. : Изд-во СПбГАУ, 2017. С. 153-156.

Публикации в других изданиях

- 7. Иванов, А.А. Методика исследований свойств метаноло-рапсовой эмульсии / А.А. Иванов, А.И. Горбатенков // Проблемы аграрной науки и образования. Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции 3-5 июня 2008 г. Часть II. Тверь : «АГРОСФЕРА» Тверской ГСХА, 2008. С. 34-36.
- 8. Иванов, А.А. Результаты теоретических исследований работы дизеля Д-242 на метаноло-рапсовых эмульсиях / А.И. Горбатенков, А.А. Иванов // Современные технологии агропромышленного производства. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 2-4 июня 2009 г.— Тверь : «АГРОСФЕРА» Тверской ГСХА, 2009. Часть І. С. 54-56.
- 9. Иванов, А.А. Результаты экспериментальных исследований показателей работы дизеля Д-242 на метаноло-рапсовой эмульсии / А.И. Горбатенков, А.А. Иванов // Инновационные технологии как основа развития аграрного образования и АПК региона . Сб. научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции 1-3 июня 2010 г.— Тверь : ТГСХА, 2010. С. 60-62.

Подписано в печать 18.09.17

Формат 60×84 1/16

Бум. офсет.

Усл. печ. л. 1,0

Уч.-изд. л. 1,0

Тираж 100 экз.

Заказ

Бесплатно

Тверская государственная сельскохозяйственная академия 170904, Тверь, п. Сахарово, Василевского ул., 7 Отпечатано в Издательстве ТГСХА. 170904, Тверь, п. Сахарово, Василевского ул., 7

Тел.: 53-16-04, e-mail: texavto@bk.ru