

*На правах рукописи*



**Сидорова Лилия Ильдаровна**

**ПРИМЕНЕНИЕ РЕДЕЧНОГО МАСЛА В КАЧЕСТВЕ  
БИОКОМПОНЕНТА СМЕСЕВОГО ТОПЛИВА  
ДЛЯ ДИЗЕЛЕЙ ТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ**

**Специальность:** 05.20.01 – технологии и средства механизации  
сельского хозяйства;  
05.20.03 – технологии и средства технического  
обслуживания в сельском хозяйстве

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Пенза – 2016

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Ульяновская государственная сельскохозяйственная академия имени П.А. Столыпина» (ФГБОУ ВО Ульяновская ГСХА)

**Научный руководитель**

доктор технических наук, профессор  
**Уханов Александр Петрович**

**Официальные оппоненты:**

**Иншаков Александр Павлович**

доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «МГУ им. Н.П. Огарева», заведующий кафедрой «Мобильные энергетические средства»

**Володько Олег Станиславович**

кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО Самарская ГСХА, заведующий кафедрой «Тракторы и автомобили»

**Ведущая организация**

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве (ФГБНУ ВНИИТиН, г. Тамбов)

Защита состоится «20» мая 2016 года в 10<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д 220.053.02 на базе ФГБОУ ВО Пензенская ГСХА по адресу: 440014, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30, ауд. 1246.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО Пензенская ГСХА и на сайте <http://pgsha.penza.net>.

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2016г.

**Ученый секретарь  
диссертационного совета**



**А.В. Мачнев**

## Общая характеристика работы

**Актуальность темы.** В настоящее время многие научно-исследовательские и образовательные учреждения проводят исследования, направленные на решение задач обеспечения экономии моторного минерального топлива путем его частичной (или полной) замены топливами не нефтяного происхождения. Одним из видов моторного топлива является дизельное смесевое топливо (ДСТ), биологическим и минеральным компонентами которого являются растительное масло и товарное минеральное дизельное топливо (ДТ). Однако из-за различий физических и теплотворных свойств ДСТ от аналогичных свойств минерального ДТ дизели серийно выпускающейся и находящейся в эксплуатации тракторной техники не в полной мере конструктивно приспособлены к эффективной работе на таком альтернативном топливе. В качестве биологического компонента ДСТ наиболее изучены метиловый эфир рапсового масла, рапсовое, сурепное, сафлоровое и горчичное масла. Сравнительный анализ свойств различных растительных масел показывает, что одним из перспективных биологических компонентов для производства ДСТ является редечное масло (РедМ).

В связи с этим исследования, направленные на оценку эффективности применения смесевое редечно-минерального топлива в тракторных дизелях, являются актуальными и практически значимыми для АПК России и других отраслей, эксплуатирующих дизельную тракторную технику.

Работа выполнена по плану НИОКР ФГБОУ ВО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина», тема «Повышение эффективности машинно-тракторных агрегатов эксплуатационными методами» (ГР № 01201157952).

**Степень разработанности темы.** В научных трудах российских и зарубежных учёных приведены результаты исследований по применению ДСТ в качестве моторного топлива дизельной тракторной техники, биологическим компонентом которого являются рапсовое, сурепное, сафлоровое и горчичное масла. Однако в данных работах недостаточно полно исследованы вопросы теоретической оценки эксплуатационных показателей машинно-тракторного агрегата (МТА), которые бы учитывали изменение мощностных и топливно-экономических показателей дизеля, конструктивные и кинематические показатели дизеля и МТА, а также физико-химические и теплотворные свойства растительных масел, применяемых в качестве биокомпонента ДСТ и, в частности, редечного масла. Кроме того, известные до настоящего времени технические средства не в полной мере адаптируют дизельную тракторную технику к работе на таком двухкомпонентном топливе. Поэтому решение данных вопросов требует дальнейших теоретических и экспериментальных исследований.

Актуальность темы исследований подтверждена поручением президента Российской Федерации №2097 от 14.12.2006 г. по ускоренному развитию производства и потребления биотоплива, распоряжением Правительства РФ №1-Р от 08.01.2009 г. «Основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 года».

**Цель исследований** – оценка эффективности применения редечного масла в качестве биологического компонента дизельного смесевое топлива.

### **Задачи исследований:**

1. Выполнить хроматографический анализ натуральных (не обработанных ультразвуком) и обработанных ультразвуком редечного масла и смесевое редечно-минерального топлива в различных соотношениях биологического и минерального ком-

понентов; определить их жирнокислотный и углеводородный состав, низшую теплоту сгорания, плотность и вязкость.

2. Теоретически определить показатели рабочего процесса, индикаторные и эффективные показатели тракторного дизеля при его работе на товарном минеральном топливе и смесевом редечно-минеральном топливе.

3. Провести моторные исследования дизеля и экспериментально определить мощностные, топливно-экономические и экологические показатели при работе на товарном минеральном дизельном топливе и смесевом редечно-минеральном топливе, обработанных и не обработанных ультразвуком.

4. Разработать, изготовить и исследовать смеситель и двухтопливную систему питания дизеля, обеспечивающие работу тракторной техники на смесевом редечно-минеральном и минеральном топливах; провести эксплуатационные исследования трактора в составе пахотного агрегата при работе дизеля на минеральном и смесевом редечно-минеральном топливах.

5. Обосновать выбор рационального состава смесевое редечно-минерального топлива по показателям рабочего процесса, мощностным, топливно-экономическим и экологическим показателям дизеля, а так же по эксплуатационным показателям трактора в составе пахотного агрегата; оценить экономическую эффективность от частичной замены минерального дизельного топлива смесевым редечно-минеральным топливом.

**Объект исследований** – физические и теплотворные свойства редечного масла и редечно-минерального топлива; мощностные, топливно-экономические, экологические показатели дизеля Д-243(4Ч11/12,5) и эксплуатационные показатели трактора в составе пахотного агрегата (МТЗ-82 + ПЛН 3-35) при работе на смесевом редечно-минеральном топливе.

**Предмет исследований** – закономерности изменения физических и теплотворных свойств редечного масла и редечно-минерального топлива, мощностных, топливно-экономических, экологических показателей дизеля и эксплуатационных показателей трактора в составе пахотного агрегата при работе на смесевом редечно-минеральном топливе, состоящем из редечного масла и товарного минерального дизельного топлива в соотношениях 25:75, 50:50, 75:25, 90:10 и смесевое топливо 90:10 (УЗ), обработанного ультразвуком.

**Научную новизну работы** представляют:

- оценка жирнокислотного и углеводородного состава, определение низшей теплоты сгорания, плотности и вязкости натурального редечного масла, смесевое редечно-минерального топлива различного состава, а также характер их изменения после обработки ультразвуком;

- теоретическое и экспериментальное обоснование применения в дизелях тракторной техники смесевое редечно-минерального топлива по показателям рабочего процесса, индикаторным, эффективным, экологическим показателям дизеля и эксплуатационным показателям пахотного агрегата;

- оценка влияния добавки редечного масла к минеральному дизельному топливу и ультразвуковой обработки смесевое редечно-минерального топлива на показатели дизеля и эксплуатационные показатели пахотного агрегата;

- технические средства для конструктивной адаптации дизеля тракторной техники к работе на смесевом редечно-минеральном топливе.

Новизна технических решений подтверждена патентами РФ на изобретения № 2476716 «Двухтопливная система питания дизеля с автоматическим регулированием состава смесевое топлива», №2484290 «Двухтопливная система питания трактор-

ного дизеля», №2486000 «Смеситель-дозатор», №2500463 «Смеситель-дозатор минерального топлива и растительного масла» и решением ФИПС на выдачу патента РФ на изобретение по заявке №2015109440.

**Практическая значимость работы.** Использование смесового редечно-минерального топлива, например состава 25%РедМ+75%ДТ, обеспечивает экономию минерального (нефтяного) топлива на величину его замещения биокomпонентом РедМ (на 25%), при незначительном снижении эффективной мощности дизеля (до 4,6%), и некотором увеличении удельного эффективного расхода смесового топлива (до 8,1%), уменьшает дымность отработавших газов (на 14,2%) и содержание оксида углерода (на 30%); также незначительно возрастает погектарный расход топлива пахотного агрегата (на 3,8%), уменьшается его производительность за час чистой работы (на 0,9%) и эксплуатационная мощность (на 0,4%) по сравнению с работой дизеля МТА на товарном минеральном ДТ, что позволяет рекомендовать его в качестве моторного топлива дизельной тракторной техники.

Для конструктивной адаптации тракторной техники к работе на смесовом редечно-минеральном топливе разработаны смеситель-дозатор растительного и минерального компонентов и двухтопливная система питания, обеспечивающая пуск, прогрев и останов дизеля на минеральном ДТ, работу на остальных режимах – на смесовом топливе.

**Достоверность результатов исследований** подтверждается сравнительными моторным исследованиями дизеля в стендовых условиях и тракторного агрегата в условиях эксплуатации при работе на минеральном и редечно-минеральном топливах, применением апробированных методик по определению показателей дизеля и тракторного агрегата, сходимостью результатов расчётов показателей рабочего процесса, индикаторных, эффективных показателей дизеля и эксплуатационных показателей трактора в составе пахотного агрегата с результатами моторных и эксплуатационных исследований.

**Реализация результатов исследований.** Эксплуатационные исследования пахотного агрегата, оснащённого экспериментальной системой питания, адаптированной для работы на смесовом редечно-минеральном топливе, проводились в условиях СПК (колхоз) имени Калинина Ульяновской области, что подтверждено соответствующим актом.

**Методология и методы исследований.** Теоретические исследования выполнены с использованием основных положений теории ДВС и эксплуатации МТП. Экспериментальные исследования проведены с использованием стандартных и частных методик. За метод исследований принят метод сравнительных стендовых и эксплуатационных исследований дизеля и МТА при работе на минеральном и редечно-минеральном топливах. Обработка экспериментальных данных выполнена с применением пакета прикладных программ Microsoft Excel, Mathcad и др.

**Апробация работы.** Основные результаты диссертации доложены и одобрены на Всероссийских научно-технических конференциях ФГБОУ ВПО «Пензенская ГСХА» (2012-2015г.), Международных научно-практических конференциях ФГБОУ ВПО «Ульяновская ГСХА им. П.А. Столыпина» (2012-2013г.) и ФГОУ ВО Пензенская ГСХА (2015г.), Международном научно-техническом семинаре имени В.В. Михайлова ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ им. Н. И. Вавилова» (2012-2013г.).

**Публикации результатов исследований.** По результатам исследований опубликовано 18 работ, в том числе 3 статьи в рецензируемых изданиях, указанных в «Перечне ... ВАК», получено 4 патента на изобретения и решение ФИПС о выдаче патента

РФ на изобретение по заявке №2015109440 от 17.03.2015г., без соавторов опубликовано 4 статьи. Общий объем публикаций 5,1 п.л., из них автору принадлежит 2,3 п.л.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка использованной литературы из 174 наименований и приложения на 51 с. Общий объем диссертации с приложением составляет 211 с., содержит 58 рис. и 14 табл.

**Научные положения и результаты исследований, выносимые на защиту:**

- расчетно-теоретическое обоснование показателей тракторного дизеля при использовании натурального и обработанного ультразвуком (УЗ) смесового редечно-минерального топлива в соотношениях биологического и минерального компонентов 25:75; 50:50; 75:25; 90:10 и 90:10 (УЗ).

- эксплуатационные показатели трактора в составе пахотного агрегата при работе на смесовом редечно-минеральном топливе;

- рациональное соотношение биологического и минерального компонентов в смесовом редечно-минеральном топливе, рекомендуемого для использования в качестве моторного топлива дизелей тракторной техники;

- двухтопливная система питания дизеля и смеситель для работы тракторной техники на смесовом редечно-минеральном топливе.

## Содержание работы

**Во введении** обоснованы актуальность темы, цель, объект, предмет исследований. Дана общая характеристика работы, изложены основные научные положения и результаты исследований, выносимые на защиту.

**В первом разделе «Состояние вопроса, цель и задачи исследований»** приведены основные факторы, предусматривающие замену топлива нефтяного происхождения на возобновляемое биологическое топливо; запасы, производство и потребление нефти по странам мира; основные факторы развития индустрии растительного топлива; опыт использования биотоплива в двигателях автотракторной техники. Возможность применения биотоплива в дизельных двигателях рассмотрена в работах О.С. Володько, М. В., В.А. Голубева, И.Г.Голубева, С.Н. Девянина, А.А. Ефанова, Б.П. Загородских, А.Н. Зазули, В.А. Иванова, А.П. Иншакова, Н.С. Киреевой, В.В. Крюкова, С.П. Кулманаква, В.А. Маркова, А.П. Марченко, С.Г. Митина, С.А. Нагорнова, Г.С. Савельева, В.Г. Семенова, А.П. Уханова, Д.А. Уханова, Е.П. Шиловой, Dorado M.P., Hatonen T., Korbitz W., Megahed O.A., Niemi S.A., Tat M.E., Yamane K. и др. Проанализированы достоинства и недостатки дизельного биотоплива на основе растительных масел. Установлено, что по экономическим и техническим соображениям, наиболее приемлемым для дизельной тракторной техники является дизельное смесовое топливо (ДСТ), биоконпонентом которого являются растительное масло и товарное минеральное ДТ. Изучена сырьевая база для производства биоконпонентов ДСТ. В качестве источника растительного сырья в наибольшей части работ рассматривается рапс, что не позволяет судить о его эффективности по сравнению с биотопливом из других масличных культур. Альтернативное применение масел других масличных культур (к примеру редьки масличной) позволит значительно расширить ареал их использования и вариации севооборотов. Перспективным конкурентом рапсовому маслу как биоконпонету ДСТ, по совокупности физических и теплотворных свойств, является редечное масло.

Применение ДСТ требует определенной конструктивной адаптации дизеля. Анализ предлагаемых систем питания дизелей показывает, что наилучшими являются

такие системы, которые обеспечивают работу трактора на режимах пуска, прогрева и последующего останова дизеля на минеральном ДТ, на других режимах- на смесевом растительно-минеральном топливе, предварительно приготовленным в стационарных условиях и залитым в бак в качестве основного моторного топлива.

На основании анализа научной и патентной литературы сформулированы цель и задачи исследований.

**Во втором разделе «Расчётно-теоретическое обоснование показателей дизеля при работе на смесевом редечно-минеральном топливе»**

Выполненный хроматографический анализ редечного масла сорта «Тамбовчанка» и смесевое редечно-минерального топлива на основе редечного масла и минерального ДТ в соотношениях 25%РедМ+75%ДТ, 50%РедМ+50%ДТ, 75%РедМ+25%ДТ, 90%РедМ+10%ДТ позволил определить их жирнокислотный состав, выполнить расчёт углеводородного состава и низшей теплоты сгорания, а также их плотность и вязкость (табл.1).

*Таблица 1 – Элементарный состав, низшая теплота сгорания и физические свойства исследуемых топлив*

Вид топлива	Элементарный состав			Низшая теплота сгорания, МДж/кг	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Вязкость, мм <sup>2</sup> /с
	С	Н	О			
100%ДТ	0,870	0,126	0,004	42,40	830	4,2
100%РедМ	0,778	0,117	0,105	37,37	922	78,4
25%РедМ+75%ДТ	0,847	0,124	0,029	41,24	885	23,0
50%РедМ+50%ДТ	0,824	0,121	0,055	39,89	897	41,5
75%РедМ+25%ДТ	0,801	0,119	0,080	38,66	908	60,0
90%РедМ+10%ДТ	0,787	0,118	0,095	37,89	914	71,0

*Примечание:* С – углерод; Н – водород; О – кислород.

Анализ данных таблицы 1 показывает, что редечное масло имеет значительно большую плотность и вязкость по сравнению с соответствующими показателями минерального топлива. При увеличении в смесевом топливе доли минерального ДТ разница значений существенно снижается. Низшая теплота сгорания редечного масла равна 37,37 МДж/кг, что на 11,9% ниже соответствующего показателя минерального топлива (42,40 МДж/кг). При увеличении доли минерального топлива в смесевом топливе низшая теплота сгорания увеличивается. Так, например, для смесевое топлива 25%РедМ+75%ДТ она равна 41,24 МДж/кг, что ниже соответствующего показателя минерального топлива на 2,8%.

Оценка работы пахотного агрегата (МТЗ-82 + ПЛН-3-35) при работе дизеля на смесевом редечно-минеральном топливе осуществлялась по следующим эксплуатационным показателям: погектарный расход топлива ( $g_{ca}$ , кг/га), рабочая скорость ( $V_p$ , м/с), производительность за час чистой работы ( $W_{га}$ , га/ч), эксплуатационная мощность ( $N_3$ , кВт).

Для оценки влияния смесевое редечно-минерального топлива на эксплуатационные показатели трактора в составе пахотного агрегата проанализируем основные факторы, влияющие на погектарный расход смесевое двухкомпонентного топлива – как комплексный показатель, включающий в себя множество единичных показателей, в том числе и показателей дизеля.

Погектарный расход смесевое редечно-минерального топлива (кг/га)

$$q_{ca} = \frac{Q_q}{W_q}, \quad (1)$$

где  $Q_q$  – расход смесового топлива за 1 час, кг/ч;  $W_q$  – производительность за час чистой работы пахотного агрегата, га/ч.

Расход смесового редечно-минерального топлива (кг/ч)

$$Q_q = G_{ТДСТ} = G_{ТДТ} + G_{ТРМ}, \quad (2)$$

где  $G_{ТДСТ}$  – часовой расход смесового редечно-минерального топлива, кг/ч;  $G_{ТДТ}$  – часовой расход минерального ДТ, кг/ч;  $G_{ТРМ}$  – часовой расход редечного масла, кг/ч.

Производительность за час чистой работы пахотного агрегата (га/ч)

$$W_q = 0,1 \cdot B_k \cdot v_T, \quad (3)$$

где  $B_k$  – конструктивная ширина захвата плуга, м;  $v_T$  – теоретическая скорость пахотного агрегата, км/ч.

Для равномерного движения пахотного агрегата по горизонтальному участку поля необходимо создать такую силу тяги на крюке (тяговое усилие) трактора, чтобы она смогла преодолеть тяговое сопротивление агрегатируемого плуга (Н), т.е.

$$P_{кр} - P_{f_M} = K_{уд} \cdot B_k, \quad (4)$$

где  $P_{кр}$  – сила тяги на крюке трактора, Н;  $P_{f_M}$  – усилие, затрачиваемое на перемещение агрегатируемого плуга, Н;  $K_{уд}$  – удельное сопротивление почвы на выполнение технологической операции, Н/м.

Выразим конструктивную ширину захвата пахотного агрегата через силу тяги по «двигателю»

$$B_k = \frac{P_{кр} - P_{f_M}}{K_{уд}} = \frac{P_k - (P_{f_{тр}} + P_{f_M})}{K_{уд}} = \frac{M_e \cdot i_{тр} \cdot \eta_{тр} / r_k - P_{f_{та}}}{K_{уд}}, \quad (5)$$

где  $P_k$  – касательная сила тяги, Н;  $P_{f_M}$ ,  $P_{f_{тр}}$  – сила сопротивления качению плуга и трактора, Н;  $M_e$  – эффективный крутящий момент двигателя, Н·м;  $i_{тр}$  – передаточное число трансмиссии трактора;  $\eta_{тр}$  – механический КПД трансмиссии трактора;  $r_k$  – радиус качения ведущих колес трактора, м;  $P_{f_{та}}$  – общая сила сопротивления качению пахотного агрегата, Н.

Теоретическая скорость пахотного агрегата (км/ч)

$$v_T = 0,377 \frac{n \cdot r_k}{i_{тр}}, \quad (6)$$

где  $n$  – частота вращения к.в. двигателя, мин<sup>-1</sup>.

Из формулы (6) следует, что скорость трактора при движении на определенной передаче ( $i_{тр} = \text{const}$ ) можно повысить только путем увеличения частоты вращения к.в. двигателя ( $n$ ), т.к. радиус качения ведущих колес  $r_k$  является не управляемым конструктивным параметром трактора.

Подставив в формулу производительности (3) выражения (5) и (6) с учетом единиц измерения, получим

$$W_q = 0,0377 \cdot \frac{n \cdot (M_e \cdot i_{тр} \cdot \eta_{тр} - P_{f_{та}} \cdot r_k)}{K_{уд} \cdot i_{тр}}. \quad (7)$$

Как следует из выражения (7), производительность пахотного агрегата на конкретной передаче, при прочих равных условиях, зависит от крутящего момента дви-



гателя ( $M_e$ ) и частоты вращения к.в. ( $n$ ), которые в свою очередь зависят от цикловой подачи топлива.

Выразим эффективный крутящий момент двигателя(Н·м) через индикаторный момент, который в свою очередь зависит от массовой цикловой подачи смесового редечно-минерального топлива(г/цикл) и его низшей теплоты сгорания(МДж/кг):

$$M_e = M_i - M_{МП} = \frac{10^3 \cdot g_{ц} \cdot \eta_i \cdot z \cdot H_{uДСТ}}{\pi \cdot \tau} - M_{МП} = \frac{10^3 \cdot g_{ц} \cdot \eta_i \cdot z \cdot (H_{uДТ} \cdot K_1 + H_{uPM} \cdot K_2)}{\pi \cdot \tau} - M_{МП}, \quad (8)$$

где  $M_{МП}$  – момент механических потерь, Н·м;  $H_{uДТ}$ ,  $H_{uPM}$  – низшая теплота сгорания минерального дизельного топлива и редечного масла, МДж/кг;  $K_1$ – доза минерального ДТ в смесовом топливе;  $K_2$  – доза редечного масла в смесовом топливе;  $\tau$  – тактность двигателя;  $M_i$  – индикаторный крутящий момент, Н·м;  $\eta_i$  – индикаторный КПД двигателя;  $z$  – число цилиндров двигателя;  $H_{uДСТ}$  – низшая теплота сгорания смесового топлива, МДж/кг.

Выразим цикловую подачу смесового топлива через часовую подачу:

$$g_{ц} = \frac{G_{ТДСТ}}{30 \cdot 10^{-3} \cdot n \cdot z} = \frac{G_{ТДТ} + G_{ТРМ}}{30 \cdot 10^{-3} \cdot n \cdot z}, \quad (9)$$

где  $G_{ТДТ}$ ,  $G_{ТРМ}$  – часовая подача минерального дизельного топлива и растительного масла в цилиндры дизеля, кг/ч.

Подставив выражение (9) в (8), получим

$$M_e = \frac{10^3 \cdot \frac{G_{ТДТ} + G_{ТРМ}}{0,03 \cdot n} \cdot \eta_i \cdot (H_{uДТ} \cdot K_1 + H_{uPM} \cdot K_2)}{\pi \cdot \tau} - M_{МП}. \quad (10)$$

Мощность механических потерь

$$M_{МП} = \frac{P_{МП} \cdot V_n \cdot z}{30\tau} \cdot 10^3 = \frac{(0,38 + 0,80 \cdot 10^{-3} n) \cdot V_h \cdot z}{30\tau} \cdot 10^3. \quad (11)$$

Отсюда кривоковое усилие ( $P_{кр}$ , Н) и кривоковая мощность ( $N_{кр}$ , кВт) будут равны:

$$P_{кр} = \left( \frac{10^3 \cdot \frac{G_{ТДТ} + G_{ТРМ}}{0,03 \cdot n} \cdot \eta_i \cdot (H_{uДТ} \cdot K_1 + H_{uPM} \cdot K_2)}{\pi \cdot \tau} - M_{МП} \right) \cdot \frac{i_{тр} \cdot \eta_{тр}}{r_k} - P_{f_{тр}}, \quad (12)$$

$$N_{кр} = \frac{P_{кр} \cdot v_p}{3600} = 0,1 \cdot 10^{-3} \cdot n \cdot (1 - \delta) \cdot \left( M_e \cdot \eta_{тр} - \frac{P_{f_{та}} \cdot r_k}{i_{тр}} \right). \quad (13)$$

Выражение (7) для часовой производительности пахотного агрегата(га/ч) при использовании смесового редечно-минерального топлива с учетом формулы (10) примет вид

$$W_{ч} = \frac{0,0377 \cdot n}{K_{уд} \cdot i_{тр}} \cdot \left\{ \frac{10^3 \cdot \frac{G_{ТДТ} + G_{ТРМ}}{0,03 \cdot n} \cdot \eta_i \cdot (H_{uДТ} \cdot K_1 + H_{uPM} \cdot K_2)}{\pi \cdot \tau} - M_{МП} \right\} \cdot \frac{i_{тр} \cdot \eta_{тр} - P_{f_{та}} \cdot r_k}{r_k}. \quad (14)$$

Подставив в формулу (1) выражения (2) и (14) получим формулу для расчёта погектарного расхода смесового редечно-минерального топлива(кг/га)

$$q_{ca} = \frac{(G_{TDT} + G_{TPM}) \cdot K_{уд} \cdot i_{тр}}{0,0377 \cdot n \cdot \left\{ \frac{10^3 \cdot \frac{G_{TDT} + G_{TPM}}{0,03 \cdot n} \cdot \eta_i \cdot (H_{удТТ} \cdot K_1 + H_{удPM} \cdot K_2)}{\pi \cdot \tau} - M_{мп} \right\} \cdot i_{тр} \cdot \eta_{тр} - P_{f_{та}} \cdot r_k}, \quad (15)$$

Индикаторный КПД дизеля

$$\eta_i = \frac{P_i \cdot \ell_{одст} \cdot \alpha}{H_{удст} \cdot \rho_B \cdot \eta_v}, \quad (16)$$

где  $P_i$  – среднее индикаторное давление действительного цикла, МПа.

Коэффициент избытка воздуха

$$\alpha = \frac{G_{вд}}{G_{вт}} = \frac{3600 \cdot f \cdot \varphi \cdot \sqrt{2g \cdot H} \cdot \rho_B}{G_{удст} \cdot \ell_{одст}}, \quad (17)$$

где  $G_{вд}$  – действительный расход воздуха, кг/ч;  $G_{вт}$  – общее теоретически необходимое количество воздуха для сгорания минерального топлива и редечного масла, кг/ч;  $G_{удст}$  – часовой расход дизельного смесового топлива, кг/ч;  $\ell_{одст}$  – теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг дизельного смесового топлива, кг;  $f$  – площадь проходного сечения сопла расходомера воздуха у экспериментальной тормозной установки, м<sup>2</sup>;  $\varphi$  – коэффициент расхода воздуха через сопло;  $H$  – перепад давления в сопле, Па;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\rho_B$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

Коэффициент наполнения определялся как отношение действительного количества воздуха ( $G_{вд}$ ) к теоретически возможному при температуре и давлении свежего заряда, равных температуре и давлению окружающей среды ( $G_{во}$ ):

$$\eta_v = \frac{G_{вд}}{G_{во}} = \frac{3600 \cdot f \cdot \varphi \cdot \sqrt{2g \cdot H} \cdot \rho_B}{0,03 \cdot V_h \cdot n \cdot \rho_B}, \quad (18)$$

где  $V_h$  – литраж двигателя, л;  $n$  – частота вращения к.в. двигателя, мин<sup>-1</sup>.

Подставив выражения (17) и (18) в выражение (16) получим

$$\eta_i = \frac{P_i \cdot 0,03 \cdot V_h \cdot n}{H_{удст} \cdot G_{удст}}. \quad (19)$$

Среднее индикаторное давление (МПа)

$$P_i = \varphi_u \cdot P_i', \quad (20)$$

где  $\varphi_u$  – коэффициент полноты индикаторной диаграммы;  $P_i'$  – теоретическое среднее индикаторное давление, МПа.

Теоретическое индикаторное давление (МПа)

$$P_i' = \frac{P_c}{\varepsilon - 1} \cdot \left[ \frac{\lambda \cdot \rho}{n_2 - 1} \cdot \left( 1 - \frac{T_b}{T_z} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \cdot \left( 1 - \frac{T_a}{T_c} \right) + \lambda \cdot (\rho - 1) \right], \quad (21)$$

где  $P_c$  – давление в конце сжатия, МПа;  $\varepsilon$  – степень сжатия;  $\lambda$  – степень повышения давления в дизеле;  $\rho$  – степень предварительного расширения;  $T_b$  – температура в конце расширения, К;  $T_z$  – температура в конце сгорания, К;  $T_a$  – температура в конце впуска, К;  $T_c$  – температура в конце сжатия, К;  $n_1$  – показатель политропы сжатия;  $n_2$  – показатель политропы расширения.

Таким образом, подставив выражение (21) с учётом выражения (20) в выражение (19) получим

$$\eta_i = \frac{\varphi_u \cdot \left\{ \frac{P_c}{\varepsilon - 1} \cdot \left[ \frac{\lambda \cdot \rho}{n_2 - 1} \cdot \left( 1 - \frac{T_b}{T_z} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \cdot \left( 1 - \frac{T_a}{T_c} \right) + \lambda \cdot (\rho - 1) \right] \right\} \cdot 0,03 \cdot V_h \cdot n}{H_{идст} \cdot G_{дст}}. \quad (22)$$

Таким образом, выражение (14) часовой производительности пахотного агрегата (га/ч) при использовании смесового редечно-минерального топлива с учетом формулы (22) примет вид

$$W_{ч} = \frac{0,0377 \cdot n}{K_{уд} \cdot i_{тр}} \cdot \left\{ \frac{10^3 \cdot \varphi_u \cdot \left\{ \frac{P_c}{\varepsilon - 1} \cdot \left[ \frac{\lambda \cdot \rho}{n_2 - 1} \cdot \left( 1 - \frac{T_b}{T_z} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \cdot \left( 1 - \frac{T_a}{T_c} \right) + \lambda \cdot (\rho - 1) \right] \right\} \cdot V_h}{\pi \cdot \tau} - M_{мп} \right\} \cdot i_{тр} \cdot \eta_{тр} - P_{f_{та}} \cdot r_k, \quad (23)$$

Расчет производительности пахотного агрегата по вышеприведенной методике выполнялся при допущении, что конструктивная ширина захвата агрегируемого плуга  $B_K \approx 0,99 \dots 1,01 B_p$ , а скорость трактора определялась с учетом допустимого коэффициента буксования  $\delta = 0,08 \dots 0,12$ , т.е.  $v_p = v_T (1 - \delta)$ .

Подставив выражение (23) в выражение (15) получим окончательный вид формулы для расчёта погектарного расхода смесового редечно-минерального топлива

$$q_{за} = \frac{(G_{ДДГ} + G_{ТММ}) \cdot K_{уд} \cdot i_{тр}}{0,0377 \cdot n \cdot \left\{ \frac{10^3 \cdot \varphi_u \cdot \left\{ \frac{P_c}{\varepsilon - 1} \cdot \left[ \frac{\lambda \cdot \rho}{n_2 - 1} \cdot \left( 1 - \frac{T_b}{T_z} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \cdot \left( 1 - \frac{T_a}{T_c} \right) + \lambda \cdot (\rho - 1) \right] \right\} \cdot V_h}{\pi \cdot \tau} - M_{мп} \right\} \cdot i_{тр} \cdot \eta_{тр} - P_{f_{та}} \cdot r_k}, \quad (24)$$

Формулы (23) и (24) позволяют оценить степень влияния показателей дизеля, его конструктивных особенностей и режима работы, особенностей конструкции трактора и агрегируемых с ним с.-х машин, а также удельного сопротивления почвы при выполнении технологической операции на производительность пахотного агрегата и погектарный расход топлива.

Эксплуатационная мощность (кВт)

$$N_s = K \cdot N_e, \quad (25)$$

где  $K$  – коэффициент использования эффективной мощности дизеля в условиях эксплуатации;  $N_e$  – эффективная мощность дизеля, кВт.

Эффективная мощность дизеля

$$N_e = N_i - N_{мп}, \quad (26)$$

где  $N_i$  – индикаторная мощность дизеля, кВт;  $N_{мп}$  – мощность механических потерь, кВт.

Индикаторная мощность (кВт)

$$N_i = \frac{P_i \cdot V_h \cdot z \cdot n}{120}. \quad (27)$$

Мощность механических потерь (кВт)

$$N_{мп} = \frac{P_{мп} \cdot V_h \cdot z \cdot n}{120}. \quad (28)$$

где  $P_{мп}$  – условное среднее давление механических потерь (МПа), определяемое из выражения

$$P_{мп} = 0,38 + 0,80 \cdot 10^{-3} \cdot n. \quad (29)$$

Учитывая выражения (27), (28) и (29), преобразуем выражение (26) в виде

$$N_e = \frac{\left[ \varphi_u \cdot \left\{ \frac{P_c}{\varepsilon - 1} \cdot \left[ \frac{\lambda \cdot \rho}{n_2 - 1} \cdot \left( 1 - \frac{T_b}{T_z} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \cdot \left( 1 - \frac{T_a}{T_c} \right) + \lambda \cdot (\rho - 1) \right] \right\} - 0,38 + 0,80 \cdot 10^{-3} \cdot n \right] \cdot V_h \cdot z \cdot n}{120}. \quad (30)$$

Преобразовав выражение (30) с учётом выражения (25) получим окончательный вид формулы, позволяющей определить эксплуатационную мощность (кВт)

$$N_s = \frac{\left[ \varphi_u \cdot \left\{ \frac{P_c}{\varepsilon - 1} \cdot \left[ \frac{\lambda \cdot \rho}{n_2 - 1} \cdot \left( 1 - \frac{T_b}{T_z} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \cdot \left( 1 - \frac{T_a}{T_c} \right) + \lambda \cdot (\rho - 1) \right] \right\} - 0,38 + 0,80 \cdot 10^{-3} \cdot n \right] \cdot K \cdot V_h \cdot z \cdot n}{120}. \quad (31)$$

По формулам (1)-(31) рассчитаны и определены количественные оценки эксплуатационных показателей пахотного агрегата при работе на смесевом топливе.

В качестве примера в таблице 2 представлены результаты расчётов эксплуатационных показателей пахотного агрегата (МТЗ-82 + ПЛН-3-35) на вспашке на VI передаче с глубиной обработки 20-22 см и удельным сопротивлением супесчаной выщелоченной черноземной почвы среднего механического состава 44-49 кПа.

Таблица 2 – Расчётные значения эксплуатационных показателей

пахотного агрегата при работе на речечно-минеральном топливе

Показатели	Вид топлива					
	Минеральное ДТ	25%РедМ +75%ДТ	50%РедМ +50%ДТ	75%РедМ +25%ДТ	90%РедМ +10%ДТ	90%РедМ +10%ДТ (УЗ)
Производительность за час чистой работы МТА, га/ч	1,071	1,063	1,055	1,048	1,032	1,051
Погектарный расход топлива, кг/га	14,56	15,06	15,92	17,61	18,17	17,57
Эксплуатационная мощность, кВт	54,4	54,3	54,0	53,9	53,7	54,0

Из анализа данных таблицы 2 следует, что при работе МТА на смесевом речечно-минеральном с увеличением в нём доли речечного масла погектарный расход смесового топлива увеличивается с 14,56 до 18,17 кг/га. Обработка топлива 90% РедМ + 10% ДТ (УЗ) ультразвуком позволила снизить погектарный расход смесового топлива (на 3,4%), по сравнению с работой на не озвученном топливе. Производительность за час чистой работы тракторного агрегата при работе на смесевом речечно-минеральном топливе, по сравнению с работой на минеральном ДТ, снижается при увеличении в его составе доли речечного масла. Так, например, при работе на минеральном ДТ производительность за час чистой работы агрегата составила 1,071 га/ч, тогда как на смесевом топливе 90%РедМ + 10% ДТ она равна 1,032 га/ч. Однако при работе на озвученном смесевом топливе 90% РедМ + 10% ДТ (УЗ) производительность за час чистой работы тракторного агрегата повысилась почти на 0,02 га/ч по сравнению с работой на натуральном смесевом топливе аналогичного состава. Эксплуатационная мощность дизеля при работе тракторного агрегата на смесевом топливе при увеличении в его составе доли речечного масла до 90% снижается с 54,4 до 53,7 кВт по сравнению с работой на минеральном ДТ, однако обработка смесового топлива 90% РедМ + 10% ДТ ультразвуком позволила повысить эксплуатационную мощность на 0,3 кВт по сравнению с работой на топливе, не обработанном ультразвуком.

В третьем разделе «Программа и методика экспериментальных исследований» описаны общая программа, методика экспериментальных исследований дизеля, методика исследования пахотного агрегата в эксплуатационных условиях при работе на минеральном и смесевом речечно-минеральном топливах.

Программа исследований включала:

- **лабораторные исследования** по определению плотности и вязкости редечного масла (РедМ) и смесового редечно-минерального топлива (РедМ + ДТ) в процентном соотношении 25:75; 50:50, 75:25 и 90:10 и оценке влияния ультразвуковой обработки на физико-химические показатели смесового редечно-минерального топлива.
- **контрольные испытания** агрегатов дизельной топливной аппаратуры на соответствие параметров их технического состояния требованиям соответствующих госстандартов и технических условий;
- **сравнительные моторные исследования** дизеля при работе на товарном минеральном ДТ и смесовом редечно-минеральном топливе в процентном соотношении минерального и биологического компонентов 25:75; 50:50, 75:25, 90:10, 90:10(УЗ);
- **эксплуатационные исследования** колёсного трактора класса 14кН в производственных условиях при работе на минеральном и смесовом редечно-минеральном топливах.

Лабораторные исследования предусматривали определение физических (плотность и вязкость), химических (жирно-кислотный состав) и теплотворных (низшая теплота сгорания) свойств смесовых топлив, не обработанных и обработанных ультразвуком частотой 44 кГц.

Экспериментальная лабораторная установка включала диспергатор ультразвуковой низкочастотный УЗДН-2Т с магнитострикционными излучателями на 44 кГц, емкость для обрабатываемого топлива, вискозиметр капиллярный стеклянный ВПЖ-2, ареометр, хроматограф «Кристалл-5000М».

Моторные исследования предусматривали определение индикаторных, эффективных и экологических показателей дизеля в условиях регуляторной характеристики (в диапазоне частот вращения к.в. от 1400 мин<sup>-1</sup> до 2200 мин<sup>-1</sup>) с полной нагрузкой на тормозе, а также в условиях характеристики холостого хода.

Экспериментальная моторная установка включала серийный дизель Д-243 (4Ч11/12,5), динамометрическую машину KS-56/4 со штатными контрольно-измерительными приборами (весовое устройство тормоза, манометр, тахометр), а также измерительно-регистрирующий комплекс, состоящий из датчиков (датчик частоты вращения к.в. и отметок зубьев маховика, датчик ВМТ, датчик давления газов, хромель-копелевый термодатчик), прибора ИМД-ЦМ, расходомеров топлива и воздуха, аналогово-цифрового преобразователя LA-2USB, ноутбука, измерителя дымности КИД-2 и газоанализатора АВТОТЕСТ СО-СН-Д.

При проведении моторных исследований с помощью данной аппаратуры измерялись и регистрировались следующие параметры: частота вращения к.в., давление цилиндровых газов, нагрузка на тормозе, температура окружающего воздуха, охлаждающей жидкости и моторного масла, расход топлива и воздуха, дымность отработавших газов, а также содержание в них оксида углерода. Для оценки работы дизеля на смесовом топливе определенного состава использовалась разработанная двухтопливная система питания. Отклонения оценочных показателей дизеля при работе на смесовом редечно-минеральном топливе определялись по отношению к их значениям при работе на минеральном ДТ с неизменными регулировками основных систем и механизмов и постоянном угле опережения впрыска топлива (26 град. п.к.в.).

Экспериментальные исследования проводились на товарном минеральном ДТЛ-0,2-62 и пяти составах редечно-минерального топлива: 25% РедМ + 75% ДТ;

50% РедМ + 50% ДТ; 75% РедМ + 25% ДТ; 90% РедМ + 10% ДТ; 90% РедМ + 10% ДТ (УЗ 44кГц). Результаты измерений заносились в протокол испытаний в трехкратной повторности на различных нагрузочно-скоростных режимах работы дизеля.

Исследования трактора в составе пахотного агрегата (МТЗ-82 + ПЛН 3-35) проводились в условиях опытных загонок на вспашке в СПК (колхоз) имени Калинина Ульяновской области. Оценка показателей работы пахотного агрегата, работающего на смесевом редечно-минеральном топливе, осуществлялась путем их сравнения с показателями трактора, работающего на минеральном ДТ. За оценочные эксплуатационные показатели трактора были приняты рабочая скорость, производительность за час чистой работы, погектарный расход топлива, эксплуатационная мощность и дымность отработавших газов.

**В четвёртом разделе «Результаты экспериментальных исследований дизеля при работе на смесевом редечно-минеральном топливе и их анализ»** описаны смеситель и экспериментальная топливная система дизеля, обеспечивающие работу трактору на двух видах моторного топлива: товарном минеральном и смесевом редечно-минеральном.

Отличительной особенностью **первого конструктивного варианта двухтопливной системы питания** (патент №2484290) является наличие электронного блока управления, обеспечивающего автоматический перевод работы дизеля с минерального ДТ на смесевое редечно-минеральное топливо после его прогрева температуры 40-50<sup>0</sup>С. При этом смесевое топливо приготавливается в условиях нефтебазы. Соотношение редечного масла и минерального топлива в смесевом топливе определяется климатическими условиями в период проведения работ.

Отличительной особенностью **второго конструктивного варианта двухтопливной системы питания дизеля** (патент РФ №2476716) с автоматическим регулированием состава смесевое топлива, является то, что в линиях забора минерального и биологического топлива перед входными каналами смесителя установлены дозаторы, кинематически связанные посредством управляющих и регулируемых тяг со штоком мембранного исполнительного механизма, другой конец штока соединен с мембраной, нагруженной пружиной, причем полость исполнительного механизма с размещенной в ней пружиной 25 сообщена с впускным коллектором дизеля.

Для проведения экспериментальных исследований был разработан, изготовлен и исследован **третий конструктивный вариант двухтопливной системы питания** отличающаяся тем что заранее приготовленное смесевое редечно-минеральное топливо заливается в основной бак трактора. Это позволяет в зависимости от времени года использовать смесевое топливо с различным процентным содержанием в нём редечного масла и минерального топлива. Данный конструктивный вариант двухтопливной системы питания (рисунок 1) на ряду со штатными узлами и агрегатами дополнительно содержит бак 1 (емкостью 10-15 л) для минерального ДТ, электрические подогреватели 13 проточного типа и трехходовой кран 12.

Запуск и прогрев двигателя, а также его останов осуществляется на минеральном ДТ. Для этого трехходовой кран 12 устанавливается в положение, при котором минеральное ДТ из бака 1 поступает в фильтры грубой и тонкой очистки 4 и 5, подкачивающий насос 6, топливный насос высокого давления 7, который через топливопровод 3 и форсунку 9 впрыскивает ее в соответствующий цилиндр двигателя 10.

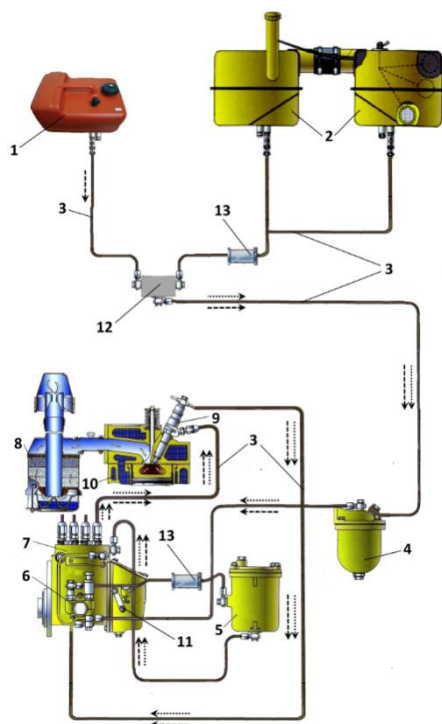


Рисунок 1 – Схема двухтопливной системы питания (наименование позиций в тексте)

Перед остановкой двигателя кран 12 вновь переключают на питание минеральным топливом.

Для стабильной и бесперебойной работы дизеля при температуре воздуха ниже 5°C включают электроподогреватели 13, которые обеспечивают подогрев смесового топлива до температуры 50-60°C. При этой температуре вязкость смесового редечно-минерального топлива соответствует вязкости минерального ДТ. Для обеспечения качественного смешивания компонентов смесового топлива разработано два конструктивных варианта смесителей.

**Первый конструктивный вариант смесителя** (патент РФ №2486000) не только смешивает компоненты смесового редечно – минерального топлива, но и дозирует их.

**Второй конструктивный вариант смесителя-дозатора** минерального топлива и растительного масла (патент РФ № 2500463) не только обеспечивает смешивание и дозирование компонентов, но и фильтрацию полученного смесового топлива. Он состоит из корпуса 1 (рисунок 2) с входными каналами 12, 13, запорные краны 15, 16 установленные на входе в каналы 12, 13, при этом входные каналы 12, 13 расположены тангенциально, в нижней части корпуса 1 закреплён стакан 2, имеющий сливную пробку 6, внутри стакана расположена пустотелая ось 3 с двумя радиальными отверстиями 4,5 и выходным каналом 14, размещённая соосно стакану 2 и корпусу 1, на оси 3 закреплён фильтрующий элемент 8, представляющий собой втулку 9 с сетчатой набивкой 10 и перфорированную шайбу 11, а в нижней части оси 3 установлен успокоитель 7.

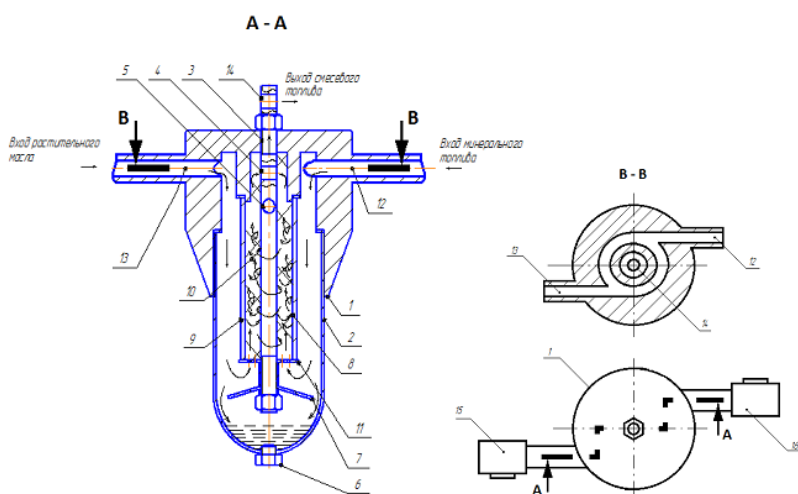
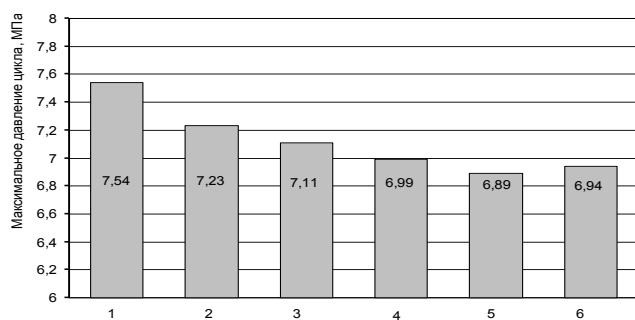


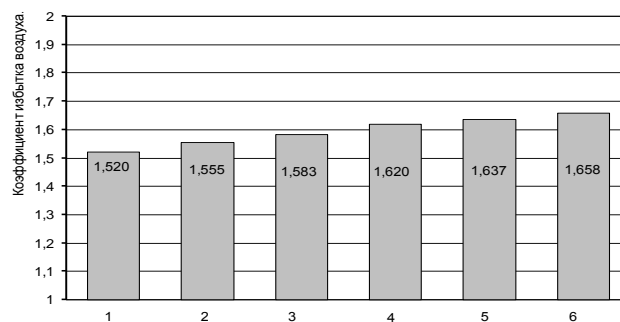
Рисунок 2 – Смеситель-дозатор минерального топлива и растительного масла

Приведены и проанализированы результаты сравнительных моторных исследований дизеля Д-243 (4Ч 11/12,5) по показателям рабочего процесса, мощностным, топливно-экономическим и экологическим показателям, а также результаты исследований пахотного агрегата в эксплуатационных условиях при работе на минеральном и смешанном топливах. На рисунках 3,4,6 показаны характер изменения максимального давления цикла ( $P_z$ ), коэффициента избытка воздуха ( $\alpha$ ), коэффициента наполнения ( $\eta_v$ ), эффективной мощности ( $N_e$ ), часовой ( $G_T$ ) и удельного эффективного ( $g_e$ ) расходов топлива, эффективного КПД и экологических показателей ( $CO$ ,  $D$ ). Результаты исследований показывают, что при работе дизеля на смешанном топливе 90% РедМ + 10% ДТ на номинальном режиме по сравнению с работой дизеля на минеральном ДТ, максимальное давление цикла снижается на 8,5% (с 7,54 МПа до 6,89 МПа), коэффициент избытка воздуха увеличивается на 7,7% (с 1,520 до 1,637), коэффициент наполнения – на 1,7% (с 0,861 до 0,876), эффективная мощность уменьшается на 7,3% (с 56,1 кВт до 52,0 кВт), часовой и удельный эффективный расходы топлива увеличиваются соответственно на 6,3% (с 14,3 кг/ч до 15,2 кг/ч) и 15,8% (с 252,4 г/кВт·ч до 292,3 г/кВт·ч).

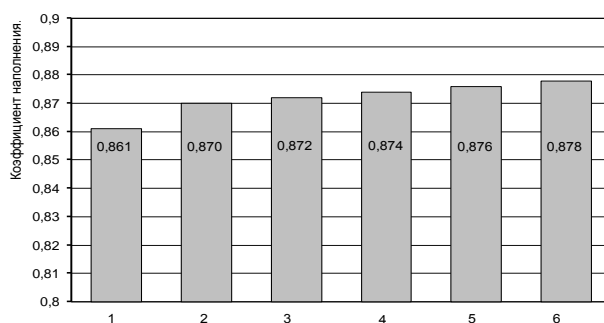
При работе двигателя на смешанном редечном-минеральном топливе 25%РедМ + 75% ДТ эффективный КПД уменьшается на 3,9% (с 0,333 до 0,320). При дальнейшем увеличении в смешанном топливе редечного масла до 90% эффективный КПД уменьшается на 2,8% (с 0,333 до 0,329).



а) максимальное давление цикла дизеля



б) коэффициент избытка воздуха дизеля



в) коэффициент наполнения дизеля

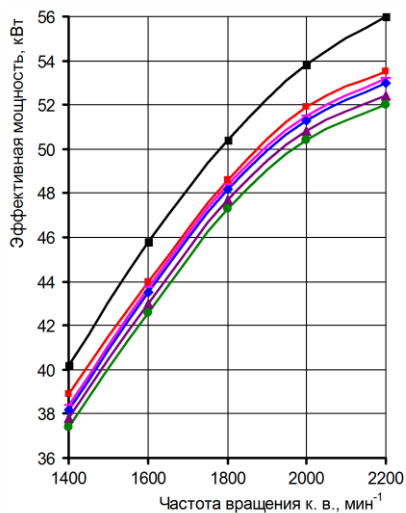
Рисунок 3 – Показатели рабочего процесса дизеля: 1) 100%ДТ; 2) 25%РедМ + 75%ДТ; 3) 50% РедМ + 50%ДТ; 4) 75% РедМ + 25%ДТ; 5) 90% РедМ + 10%ДТ; 6) 90% РедМ + 10%ДТ(УЗ)

После обработки смешанного топлива 90% РедМ + 10% ДТ(УЗ) ультразвуком показатели дизеля изменяются в меньшей степени, чем при работе дизеля на необработанном смешанном топливе. Так максимальное давление цикла снижается на 7,9% (с 7,54 МПа до 6,94 МПа), коэффициент избытка воздуха увеличивается на 9,1% (с 1,520 до 1,658), коэффициент наполнения – на 2,0% (с 0,861 до 0,878), эффективная мощ-

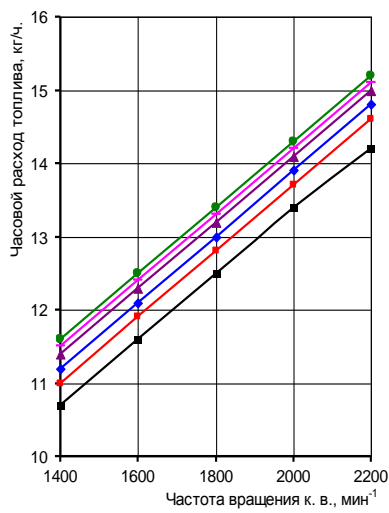


ность уменьшается на 5,2% (с 56,1 кВт до 53,2 кВт), удельный эффективный расход топлива возрастает на 12,4% (с 252,4 г/кВт·ч до 283,8 г/кВт·ч), эффективный КПД – на 1,8% (с 0,333 до 0,339).

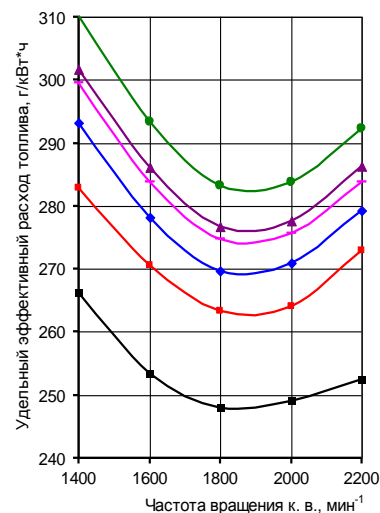
При содержании в смесевом топливе редечного масла не более 50% экологические показатели дизеля улучшаются. Так дымность отработавших газов снижается на 13,3% (с 45% до 39%), содержание оксида углерода - на 16,0% (с 0,25% до 0,21%).



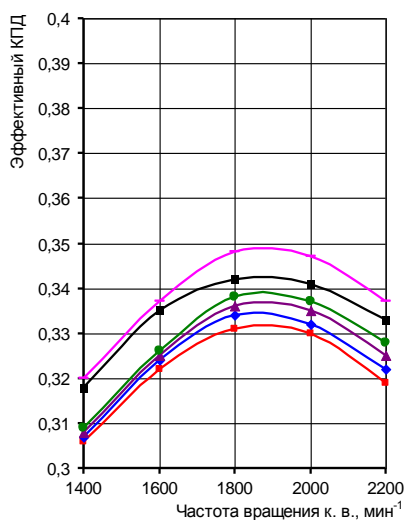
а) эффективная мощность



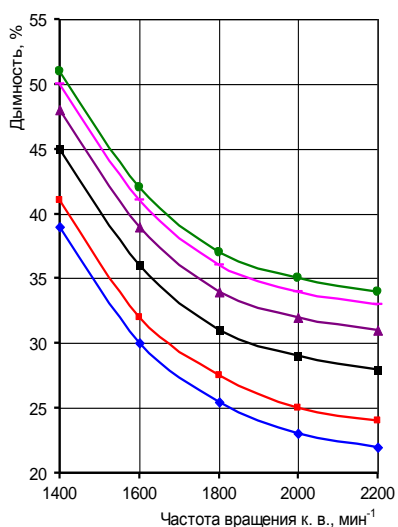
б) часовой расход топлива



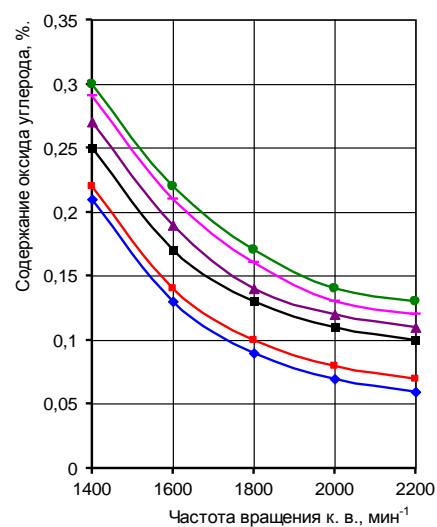
в) удельный эффективный расход топлива



г) эффективный КПД



д) дымность



е) содержание оксида углерода

Рисунок 4 – Эффективные и экологические показатели дизеля в условиях регуляторной характеристики: —■— - 100%ДТ, —■— - 25%РедМ + 75%ДТ; —◆— - 50%РедМ + 50%ДТ; —▲— - 75%РедМ + 25%ДТ; —●— - 90%РедМ + 10%ДТ; —◆— - 90%РедМ + 10%ДТ(УЗ)

При дальнейшем увеличении редечного масла в смесевом топливе дымность отработавших газов увеличивается на 13,3% (с 45% до 51%), содержание оксида углерода - на 20,0% (с 0,25% до 0,30%). Однако, после обработки смесевое топлива 90%

РедМ + 10% ДТ(УЗ) ультразвуком дымность отработавших газов увеличивается на 11,1% (с 45 % до 50 %), содержание оксида углерода - на 16,0% (с 0,25% до 0,29%).

При работе дизеля на номинальном режиме все виды смесового редечно-минерального топлива обеспечивают эффективный КПД в пределах 0,320 – 0,339, в то время как при работе на минеральном дизельном топливе он составляет 0,333.

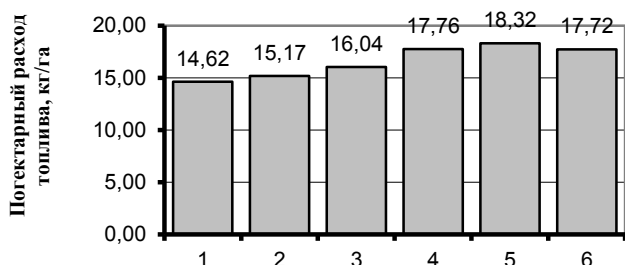
Эксплуатационные исследования трактора (рисунок 5) в составе пахотного агрегата (МТЗ-82 + ПЛН 3-35) показывают, что при увеличении содержания в смесовом топливе редечного масла погектарный расход топлива увеличивается с 14,62 кг/га до 18,32 кг/га (рисунок 6,а).



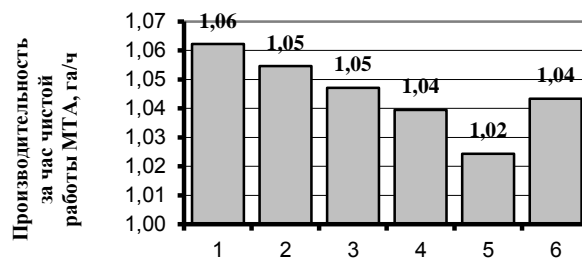
Рисунок 5 – Экспериментальный МТА

Обработка смесового топлива 90% РедМ + 10% ДТ ультразвуком позволила снизить погектарный расход топлива, по сравнению с работой на не обработанном топливе, на 3,3%. Так при работе на смесовом топливе 90% РедМ + 10% ДТ (УЗ) погектарный расход топлива составил 17,72 кг/га, а на не обработанном ультразвуком топливе 90% РедМ+10%ДТ погектарный расход топлива составил 18,32 кг/га.

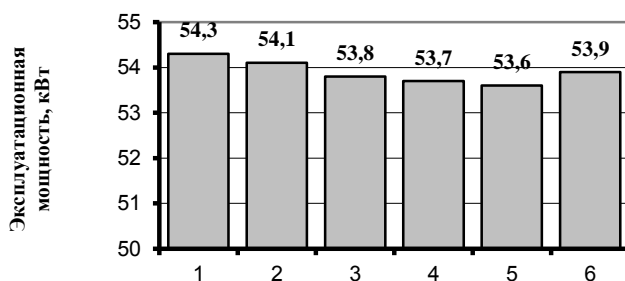
Производительность за час чистой работы тракторного агрегата при работе на смесовом редечно-минеральном топливе снижаются при увеличении в их составе доли редечного масла (рисунок 6, б) по сравнению с работой на минеральном ДТ.



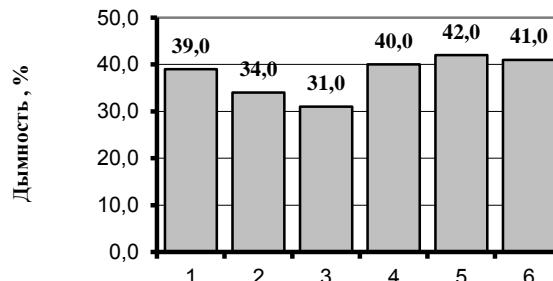
а) погектарный расход топлива



б) производительность за час чистой работы



в) эксплуатационная мощность



г) дымность

Рисунок 6 – Эксплуатационные показатели трактора в составе пахотного агрегата: 1 - минеральное ДТ; 2 - 25%РедМ + 75%ДТ; 3 - 50%РедМ + 50%ДТ; 4 - 75%РедМ + 25%ДТ; 5 - 90%РедМ + 10%ДТ; 6 - 90%РедМ + 10%ДТ(УЗ)

Так, например, при работе на 100% ДТ производительность за час чистой работы агрегата 1,06 га/ч. При работе на смесевом топливе 90% РедМ+10% ДТ производительность за час чистой работы 1,02 га. Обработка ультразвуком позволила повысить данный показатель. Так при работе на смесевом топливе 90%РедМ + 10%ДТ (УЗ) производительность за час чистой работы тракторного агрегата повысилась 1,96% по сравнению с работой на необработанном ультразвуком смесевом топливе аналогичного состава.

Эксплуатационная мощность дизеля при работе тракторного агрегата на смесевом топливе при увеличении в его составе доли редечного масла снижается (рисунок б, в) с 54,3 кВт при работе на минеральном ДТ, до 53,6 кВт при работе на смесевом топливе 90% РедМ+10% ДТ.

Обработка смесевых топлив 90% РедМ + 10% ДТ ультразвуком позволила увеличить эксплуатационную мощность на 0,6% по сравнению с работой на топливе не обработанном ультразвуком. Наименьшая дымность отработавших газов (31%) (рисунок 6, г) наблюдается при работе тракторного агрегата на смесевом топливе 50%РедМ+50%ДТ, что на 20,5% меньше чем при работе на минеральном ДТ. Обработка смесевых топлив 90% РедМ + 10% ДТ ультразвуком оказала положительное влияние и позволила снизить дымность отработавших газов на 2,4%, по сравнению с работой на топливе не обработанном ультразвуком.

**В пятом разделе «Экономическая эффективность от использования смесевых редечно-минерального топлива в дизелях тракторной техники»** проведён расчёт экономической эффективности работы трактора МТЗ-82 в составе пахотного агрегата на смесевом редечно-минеральном топливе. Годовой экономический эффект от использования в качестве моторного топлива дизельного смесевых топлив, состоящего из редечного масла и минерального дизельного топлива, в расчёте на один МТА при его работе на смесевом топливе различного состава, составляет: 25 % РедМ + 75 %ДТ – 88 924 руб.; 50 %РедМ + 50 %ДТ – 209 695 руб.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Определены жирнокислотный и углеводородный состав, плотность, вязкость и средняя химическая формула редечного масла  $C_{18,73}H_{34,71}O_2$ , низшая теплота сгорания редечного масла (37,37 МДж/кг) и редечно-минерального топлива с содержанием редечного масла и минерального топлива 25:75 (41,24 МДж/кг), 50:50 (39,89 МДж/кг), 75:25 (38,66 МДж/кг) и 90:10 (37,89 МДж/кг).

2. Получены уравнения, устанавливающие взаимосвязь показателей дизеля и тракторного агрегата со свойствами смесевых редечно-минерального топлива и обрабатываемой почвы, показателями рабочего процесса дизеля, конструктивными и кинематическими показателями дизеля и трактора.

Результаты теоретических расчётов показывают, что при работе дизеля на редечно-минеральном топливе, по сравнению с работой на минеральном топливе, происходит изменение показателей дизеля и эксплуатационных показателей трактора. Так, например, при работе дизеля на смесевом топливе 50:50 в режиме номинальной мощности эффективная мощность дизеля снизилась с 56,1 кВт до 54,49 кВт (на 2,9%), удельный эффективный расход топлива повысился с 264,2 г/кВт·ч до 265,5 г/кВт·ч (на 0,5%), производительность за час чистой работы МТА (МТЗ-82+ПЛН 3-35) снизилась с 1,071 до 1,055 га/ч (на 1,5%), погектарный расход топлива увеличился с 14,56 до 15,92 кг/га (на 9,3%), а эксплуатационная мощность снизилась с 54,4 до 54 кВт (на 0,7%) по сравнению с работой дизеля на минеральном топливе.

3. В результате сравнительных моторных исследований дизеля Д-243 при работе на минеральном и смесевом редечно-минеральном топливах, в частности на режиме номинальной мощности при полных нагрузках, установлено, что при увеличении в смесевом топливе редечного масла до 50% эффективная мощность снижается с 56,1 до 53 кВт (на 5,5%), часовой расход топлива повышается с 14,3 до 14,8 кг/ч (на 3,5%), удельный эффективный расход топлива повышается с 252,4 до 279,3 г/кВт·ч, эффективный КПД уменьшается с 0,333 до 0,323 (на 3%), при этом дымность ОГ уменьшается с 28 до 22% (на 21,4%) по сравнению с работой на минеральном топливе.

При работе дизеля на редечно-минеральном топливе, обработанном ультразвуком, мощностные, топливно-экономические и экологические показатели дизеля улучшаются по сравнению с работой дизеля на необработанном топливе аналогичного состава. Так, например, эффективный КПД дизеля при работе на смесевом озвученном топливе 90%РедМ+10%ДТ (УЗ) на 3% больше, чем при работе дизеля на смесевом не озвученном топливе 90%РедМ+10%ДТ.

4. Для обеспечения работы дизелей тракторной техники на минеральном ДТ и смесевом редечно-минеральном топливе разработаны и запатентованы двухтопливные системы питания тракторного дизеля и смесителя. Системы питания обеспечивают пуск, прогрев и останов дизеля на минеральном ДТ, на остальных режимах – на смесевом редечно-минеральном топливе. Смесители позволяют качественно смешивать биологический и минеральный компоненты редечно-минерального топлива непосредственно в процессе работы трактора.

Эксплуатационные исследования тракторного агрегата МТЗ-82+ПЛН-3-35 показали, что при увеличении в смесевом топливе редечного масла до 50% погектарный расход топлива увеличивается с 14,62 до 16,04 кг/га (на 9,7%), производительность за час чистой работы уменьшилась с 1,06 до 1,05 га/ч (на 0,9%), эксплуатационная мощность уменьшилась с 54,3 до 53,8 кВт (на 0,9%), дымность уменьшается с 39 до 31 % (на 20,5%) по сравнению с работой на минеральном топливе.

5. По исследуемым показателям рабочего процесса, эффективным показателям дизеля и эксплуатационным показателям тракторного агрегата лучшим является топливо 25%РедМ + 75% ДТ, по экологическим показателям - топливо 50%РедМ + 50%ДТ. Для условий эксплуатации МТА рекомендуется рациональный состав смесевоего топлива с содержанием редечного масла в диапазоне от 25% до 50%.

Годовой экономический эффект (в ценах янв. 2015г.) от использования редечно-минерального топлива с соотношением биологического и минерального компонентов 25%РедМ + 75% ДТ и 50%РедМ + 50%ДТ составляет соответственно 88924 руб. и 209695 руб. на один МТА в составе трактора тягового класса 1,4 и плуга.

### **Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**

#### *Публикации в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК*

1. Уханов, А.П. Экспериментальная оценка влияния смесевоего топлива на показатели рабочего процесса дизеля / А.П. Уханов, Е.А. Сидоров, Л.И. Сидорова, Е.Д. Година // Известия Самарской ГСХА. – 2012. – №3. – С.33-38.
2. Уханов, А.П. Опыт применения редькового масла в качестве биологического компонента дизельного смесевоего топлива / А.П. Уханов, Е.Д. Година, Л.И. Сидорова // Известия Самарской ГСХА. – 2012. – №3. – С.46-50.

3. Уханов, А.П. Теоретическая и экспериментальная оценка эксплуатационных показателей пахотного агрегата при работе на дизельном смесевом топливе / А.П. Уханов, Е.А. Сидоров, Л.И. Сидорова // Научное обозрение. – 2014. – №1. – С.21-27.

#### *Патенты РФ на изобретения*

4. Патент № 2476716 РФ. МПК F02M43/00. Двухтопливная система питания дизеля с автоматическим регулированием состава смесевого топлива / А.П. Уханов, Д.А. Уханов, Е.А. Сидоров, Л.И. Сидорова, Е.Д. Година. – 2012110662/06; заяв. 20.03.2012; опубл. 27.02.2013, Бюл. № 6.

5. Патент № 2484290 РФ. МПК F02M43/00. Двухтопливная система питания тракторного дизеля / А.П. Уханов, Д.А. Уханов, Е.А. Сидоров, Л.И. Сидорова. – 2012115021/06; заяв. 16.04.2012; опубл. 10.06.2013, Бюл. № 16.

6. Патент № 2486000 РФ. МПК B01F5/06. Смеситель-дозатор / А.П. Уханов, Д.А. Уханов, Е.А. Сидоров, Л.И. Сидорова, Е.Д. Година. – 20121113655/02; заяв. 06.04.2012; опубл. 27.06.2013, Бюл. № 18.

7. Патент № 2500463 РФ. МПК B01F5/06. Смеситель-дозатор минерального топлива и растительного масла / А.П. Уханов, Д.А. Уханов, Е.А. Сидоров, Л.И. Сидорова, Е.Д. Година. – 2012114405/05; заяв. 11.04.2012; опубл. 10.12.2013, Бюл. №34.

#### *Публикации в других изданиях*

8. Сидорова, Л.И. Анализ и перспективы производства дизельного биотоплива / Л.И. Сидорова // Инновационные идеи молодых исследователей для АПК России: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых Т. 3. – Пенза: РИО ПГСХА, 2012. – С.38-40.

9. Сидорова, Л.И. Перспективы использования редькового масла в качестве компонента дизельного смесевого топлива / Л.И. Сидорова // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: сборник материалов 25 Международного научно-технического семинара имени Михайлова В.В. – Саратов: СГАУ, 2012. – С.233-236.

10. Уханов, А.П. Оценка влияния смесевого редьково-минерального топлива на эффективные показатели дизеля / А.П. Уханов, Е.А. Сидоров, Л.И. Сидорова, Е.Д. Година // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: сборник материалов 25 Международного научно-технического семинара имени Михайлова В.В. – Саратов: СГАУ, 2012. – С.269-273.

11. Сидорова, Л.И. Исследования тракторного дизеля при работе на редьково-минеральном топливе / Л.И. Сидорова // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения: Материалы IV Международной научно-практической конференции. – Ульяновск: ГСХА им. П.А. Столыпина, 2012, т. II – С.166-171.

12. Сидорова, Л.И. Улучшение экологических показателей дизеля применением редьково-минерального топлива / Л.И. Сидорова // Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых. – Пенза: РИО ПГСХА, 2012. – С.188-190.

13. Уханов, А.П. Система питания дизеля, адаптированная для работы на смесевом топливе / А.П. Уханов, Е.А. Сидоров, Л.И. Сидорова // Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: сборник материалов 26 Международного научно-технического семинара имени Михайлова В.В. – Саратов: СГАУ, 2013. – С.202-204.

14. Сидоров, Е.А. Двухтопливная система питания дизеля с автоматическим регулированием состава смесевого топлива / Е.А. Сидоров, Л.И. Сидорова // Аграрная наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения:

- материалы V Международной научно-практической конференции. – Ульяновск: ГСХА им. П.А. Столыпина, 2013, т. II – С.285-288.
15. Сидоров, Е.А. Устройство для приготовления дизельного смесового топлива / Е.А. Сидоров, Л.И. Сидорова // Эксплуатация автотракторной техники: опыт, проблемы, инновации, перспективы: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции – Пенза: РИО ПГСХА, 2013. – С. 102-104.
16. Уханов, А.П. Смеситель-дозатор минерального топлива и растительного масла / А.П. Уханов, Е.А. Сидоров, Л.И. Сидорова // Образование, наука, практика: инновационный аспект: сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной Дню российской науки. Том II. – Пенза: РИО ПГСХА, 2015. – С. 73-76.
17. Уханов, Д.А. Смеситель с активным приводом / Д.А. Уханов, Е.А. Сидоров, Л.И. Сидорова, Е.А. Хохлова // Образование, наука, практика: инновационный аспект: сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвященной Дню российской науки. Том II. – Пенза: РИО ПГСХА, 2015. С. – 80-82.
18. Уханов, А.П. Эксплуатационные исследования пахотного агрегата при работе на смесовом редечно-минеральном топливе / А.П. Уханов, Л.И. Сидорова, Е.А. Сидоров // Эксплуатация автотракторной техники: опыт, проблемы, инновации, перспективы: сборник статей Международной научно-практической конференции – Пенза: РИО ПГСХА, 2015. – С.107-112.

Подписано в печать 20.02.2016 г.  
Объем 1,0 п.л. Тираж 100 экз. Заказ № 42  
Отпечатано с готового оригинал-макета  
в Пензенской мини-типографии  
Свидетельство № 5551  
440600, г. Пенза, ул. Московская, 74