

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО УГЛА ОПЕРЕЖЕНИЯ ВПРЫСКИВАНИЯ ТОПЛИВА НА ДИЗЕЛЬНОМ ДВИГАТЕЛЕ 4ЧН 11,0/12,5 ПРИ РАБОТЕ НА СМЕСЯХ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА С СУРЕПНЫМ МАСЛОМ

Р. С. ДАРГЕЛЬ, В. А. ШАПОРЕВ, Е. В. СУЛИМА

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,  
г. Горки, Республика Беларусь, 213407, e-mail: ruslandargel@mail.ru, vitlik3991@mail.ru, trock496@gmail.com

(Поступила в редакцию 11.06.2021)

*В статье изложены результаты экспериментальных исследований, проведенных на кафедре «Тракторы, автомобили и машины для природообустройства» БГСХА в специализированной научно-исследовательской лаборатории «Испытание двигателей внутреннего сгорания» по выявлению влияния состава смесевоего топлива, состоящего из 90 % дизельного топлива (ДТ) + 10 % сурепно-минерального масла (СУРМ) и 80 % ДТ + 20 % СУРМ, на эффективные и экологические показатели работы дизеля 4ЧН 11,0/12,5 (Д-245.5S2) и определению рационального значения установочного угла опережения впрыскивания топлива данного дизеля. Также представлено описание экспериментальной установки и дополнительного оборудования.*

*Экспериментальные исследования подтвердили возможность использования смесевых составов в качестве альтернативного топлива для дизельных двигателей. Применение сурепно-минерального масла улучшает эксплуатационные показатели дизеля путем сокращения расхода ДТ. Эффективные показатели работы дизеля на данных смесях показывают незначительное снижение мощности, крутящего момента и КПД, а также показывают рост удельного эффективного расхода теплоты смеси. Экологические показатели сопровождаются значительным снижением выбросов с отработавшими газами (ОГ) частиц сажи и оксидов азота, что в свою очередь являются основными токсичными компонентами, и малозначительными выбросами с ОГ диоксида углерода, оксида углерода и углеводородов. Рациональным значением для работы дизеля на смесях с добавлением СУРМ следует считать угол опережения впрыскивания топлива  $\Theta_{впр.} = 22^\circ$  поворота коленчатого вала (п.к.в.).*

**Ключевые слова:** Дизель, дизельное топливо, сурепно-минеральное топливо, масло сурепицы, отработавшие газы, дымность, токсичность.

*The article presents results of experimental studies carried out at the Department of Tractors, Cars and Machines for Environmental Engineering of the Belarusian State Agricultural Academy in the specialized research laboratory «Testing of Internal Combustion Engines» to identify the influence of the composition of mixed fuel, consisting of 90 % diesel fuel (DF) + 10 % of rapeseed mineral oil (RO) and 80 % DF + 20 % RO, on the efficient and environmental performance of the diesel 4ChN 11.0 / 12.5 (D-245.5S2) and the determination of rational value of the setting angle of the fuel injection advance of this diesel engine. A description of the experimental setup and additional equipment is also provided.*

*Experimental studies have confirmed the possibility of using mixed compositions as an alternative fuel for diesel engines. The use of rapeseed mineral oil improves the performance of a diesel engine by reducing diesel fuel consumption. The effective performance of diesel engine on these mixtures shows a slight decrease in power, torque and efficiency, and also shows an increase in the specific effective heat consumption of the mixture. The environmental indicators are accompanied by a significant reduction in exhaust gas emissions (exhaust gases) of soot particles and nitrogen oxides, which in turn are the main toxic components, and insignificant emissions from exhaust gases of carbon dioxide, carbon monoxide and hydrocarbons. The rational value for the operation of a diesel engine on mixtures with the addition of RO should be considered the fuel injection advance angle  $\Theta_{injection} = 22^\circ$  of crankshaft rotation.*

**Key words:** diesel, diesel fuel, rape-mineral fuel, rape oil, exhaust gases, smoke, toxicity.

### Введение

Растущий интерес к альтернативным видам топлива для автотракторной техники обусловлен тремя существенными соображениями: альтернативные виды топлива, как правило, дают меньше выбросов, усиливающих смог, загрязнение воздуха и глобальное потепление; большинство альтернативных видов топлива производится из неисчерпаемых запасов; использование альтернативных видов топлива позволяет любому государству повысить энергетическую независимость и безопасность. Известны различные виды альтернативных топлива. Некоторые из них уже широко используются, другие еще не повсеместно доступны или находятся в экспериментальной стадии. Но все обладают потенциалом для обеспечения полной или частичной замены бензина и дизельного топлива [1–3].

Дизели более адаптивны к работе на топливах с различными физико-химическими свойствами. Это означает, что альтернативные топлива легче реализовать на базе дизельных двигателей, чем бензиновых. Работа дизеля на более лёгких топливах (смесях ДТ с бензинами и керосинами) возможна при некоторых изменениях в конструкции двигателя. Сжигание тяжёлых и лёгких топлив в дизелях при высоких степенях сжатия и больших коэффициентах избытка воздуха более эффективно, чем в двигателях с принудительным воспламенением [4–8].

Во многих странах принимают нормативные акты и реализуют госпрограммы, направленные на решение этой проблемы. Существует Киотский протокол, согласно которому каждый участник должен выполнить определённые обязательства по ограничению и сокращению выбросов парниковых газов в окружающую среду [9, 10].

Указом Президента Республики Беларусь № 370 от 12 августа 2005 г. наша страна присоединилась к Киотскому протоколу. Международные обязательства Беларуси по охране окружающей среды определяют важность работ, направленных на оздоровление экологической обстановки и, в первую очередь, на снижение загрязнения атмосферного воздуха от вредных выбросов автотракторной техникой.

Снизить негативное воздействие тракторов на окружающую среду (ОС) и уменьшить зависимость Беларуси от минерального топлива можно, используя смесевое топливо на основе СУРМ.

Целью данного исследования является разработка новых составов топлив на основе ДТ и СУРМ. Данные составы должны удовлетворять требованиям применения в дизельном двигателе. А также целью данного исследования является определение рационального значения установочного угла опережения впрыскивания топлива при работе дизеля на смесях, состоящих из 90 % ДТ + 10 % СУРМ и 80 % ДТ + 20 % СУРМ.

### **Основная часть**

Экспериментальное исследование по определению влияния состава смесевое топлива на основе ДТ и СУРМ на эффективные и экологические показатели. Исследование определения рационального значения установочного угла опережения впрыскивания топлива при работе дизеля 4ЧН 11,0/12,5 (Д-245.5S2) на смесях, состоящих из 90 % ДТ + 10 % СУРМ и 80 % ДТ + 20 % СУРМ проводилось на кафедре «Тракторы, автомобили и машины для природообустройства» БГСХА в специализированной научно-исследовательской лаборатории «Испытание двигателей внутреннего сгорания».

В состав экспериментальной установки входил электротормозной нагрузочный стенд SAK-N670 с балансирной маятниковой машиной, дизель 4ЧН 11,0/12,5 (Д-245.5S2) и комплект измерительных приборов с выводом данных на монитор компьютера (рис. 1). Частота вращения коленчатого вала двигателя измерялась путем установки электронного датчика на коленчатый вал. Крутящий момент на коленчатом валу двигателя измерялся с помощью динамометрического устройства, входящего в состав нагрузочного стенда. Расход топлива определялся массовым способом при помощи электронного расходомера АИР-50 с весовым устройством. Анализ проб ОГ производился с помощью автоматического газоанализатора Maha MGT-5. Дымность ОГ измерялась с помощью дымомера СИДА-107 «АТЛАС». Все приборы прошли государственную поверку.

Следует отметить, что при проведении экспериментальных исследований ДТ замещалось СУРМ по его массе. Осуществляя перевод дизельного двигателя на смесевые составы 90 % ДТ + 10 % СУРМ и 80 % ДТ + 20 % СУРМ необходимо сохранить мощностные и экономические показатели на уровне, установленном заводом-изготовителем. В целях выполнения этого условия, требуется определить эффективные регулировки системы топливоподачи дизельного двигателя. Первоначально необходимо определить влияние составов СУРМ и ДТ на значения рационального установочного угла опережения впрыскивания топлива. Установочный угол опережения впрыскивания топлива согласно руководству по эксплуатации при работе на чистом ДТ, для тракторного дизеля 4ЧН 11,0/12,5 (Д-245.5S2) составляет  $\Theta_{впр}=18^\circ$  п.к.в.

Из соответствующей регулировочной характеристики (рис. 1 и 2) определялся рациональный установочный угол опережения впрыскивания топлива. Для построения регулировочной характеристики дизельного двигателя 4ЧН 11,0/12,5 снимался ряд нагрузочных показателей по подаче топлива при различных значениях установочного угла опережения впрыскивания топлива для составов 90 % ДТ + 10 % СУРМ и 80 % ДТ + 20 % СУРМ.

На графике (рис. 1) представлены данные, следуя которым отметим следующее, что при работе дизеля на чистом ДТ рациональным установочным углом опережения впрыскивания является угол  $\Theta_{впр}=18^\circ$  п.к.в. При этом дизельный двигатель развивает наибольшую паспортную мощность  $N_e=69$  кВт, значения удельного эффективного расхода топлива также возрастают и составляют  $g_e=247,2$  г/кВт×ч и  $g_e=255,6$  г/кВт×ч, соответственно, для случаев содержания 10 % и 20 % СУРМ в суммарном топливе. При этом минимум  $g_e$  сдвигается в сторону более ранних углов опережения впрыскивания топлива и составляет  $\Theta_{впр}=27^\circ$  и  $\Theta_{впр}=28^\circ$ , соответственно, для случаев содержания 10% и 20% СУРМ в суммарном топливе. Значение крутящего момента равно  $M_k=363$  Н·м, значение эффективного КПД составляет  $\eta_e=37,4$ .

При переводе дизеля для работы на смесевом составе, содержащей 90 % ДТ + 10 % СУРМ значение рационального установочного угла увеличивается и составляет  $\Theta_{\text{впр}}=22^\circ$  п.к.в. Мощность дизеля при этом наибольшая и составляет  $N_e=68,4$  кВт. Крутящий момент также наибольший и составляет  $M_k=349$  Н·м, а значение эффективного КПД составляет  $\eta_e=36,8$ . При уменьшении или увеличении установочного угла происходит снижение эффективной мощности, удельного эффективного расхода топлива и уменьшение величины крутящего момента.

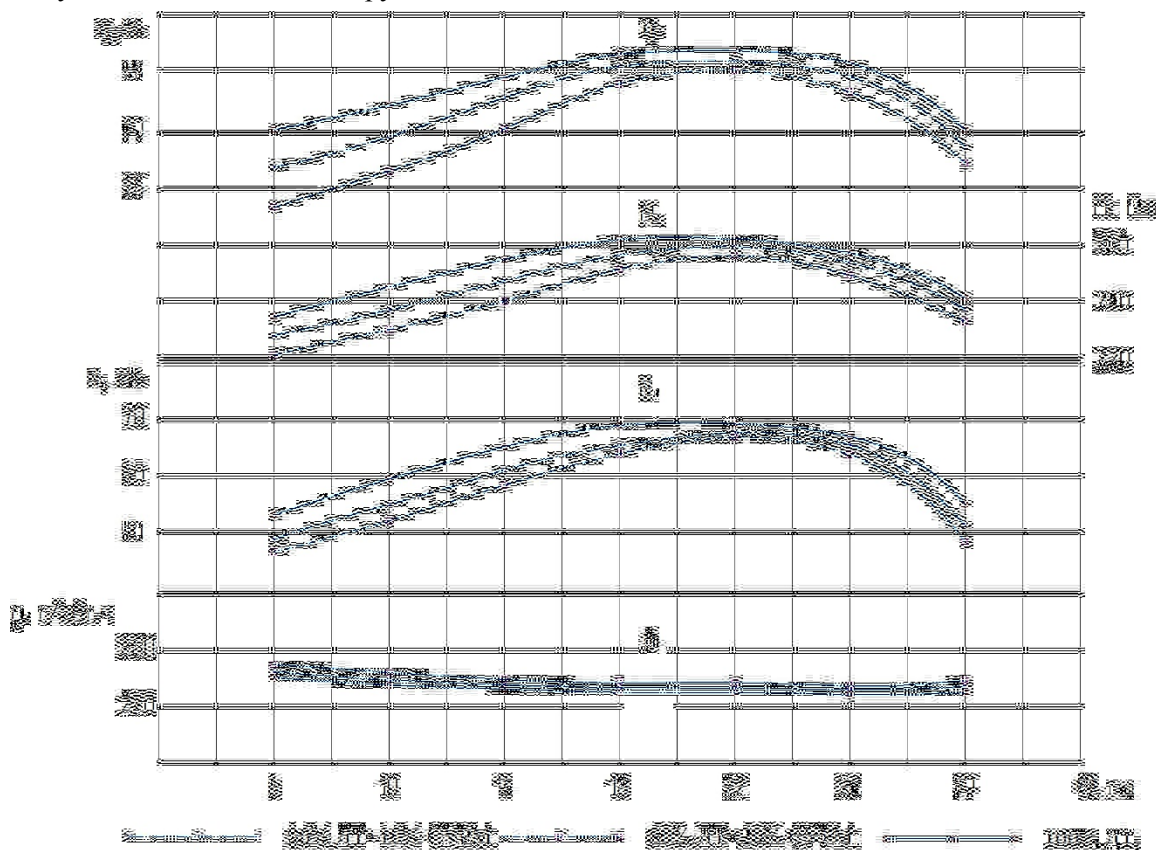


Рис. 1. Регулировочная характеристика дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$   
(мощностные и экономические показатели)

При работе дизеля на смеси, содержащей 80 % ДТ + 20 % СУРМ, удельного эффективного расхода, топлива и эффективной мощности, и крутящего момента практически не изменяется. Наибольшая мощность дизеля  $N_e=68,4$  кВт достигается при значении рационального установочного угла  $\Theta_{\text{впр}}=22^\circ \dots 24^\circ$  п.к.в. Крутящий момент при этих значениях установочного угла составляет  $M_k=298$  Н·м. Значение эффективного КПД  $\eta_e=36,3$ .

Работа дизельного двигателя на смесях 90 % ДТ + 10 % СУРМ, 80 % ДТ + 20 % СУРМ, при установочном угле опережения впрыскивания топлива  $\Theta_{\text{впр}}=22^\circ$  п.к.в. к чистому ДТ в процентном отношении показывает незначительное снижение мощности на 1,15% и 4,79 незначительное снижение крутящего момента на 5,29 % и 17,34 % незначительное снижение значения эффективного КПД на 3,15 % и 8,32 % .

Показания токсичных компонентов в отработавших газах дизеля 4ЧН 11,0/12,5 (Д-245.5S2) в зависимости от изменения установочного угла опережения впрыскивания топлива при частоте вращения  $1800 \text{ мин}^{-1}$  представлено на рис. 2.

При установочном угле опережения впрыскивания топлива  $\Theta_{\text{впр}}=22^\circ$  п.к.в., содержание сажи  $C$  в ОГ при работе на чистом ДТ значительно снижается относительно при работе на смесевых составах 90 % ДТ + 10 % СУРМ и 80 % ДТ + 20 % СУРМ составляет соответственно  $C=3,9$  %,  $C=2,8$  %. При уменьшении угла до  $\Theta_{\text{впр}}=6^\circ$  содержание сажи увеличивается, а при увеличении угла до  $\Theta_{\text{впр}}=30^\circ$  содержание сажи растет для всех смесевых составов. Следовательно, с увеличением концентрации СУРМ в смесевых составах с ДТ, снижается содержание сажи в ОГ на 34,85 % и 59,96 % относительно чистому ДТ.

Концентрация оксидов азота  $\text{NO}_x$  в ОГ при значении установочного угла опережения впрыскивания топлива  $\Theta_{\text{впр}}=22^\circ$  п.к.в. при применении смесевых составов порядком ниже, чем при работе на

чистом ДТ и составляет 1026 ppm для чистого ДТ, для смесей 90 % ДТ + 10 % СУРМ и 80 % ДТ + 20 % СУРМ их концентрация составляет 911 ppm и 698 ppm. Снижение оксидов азота  $\text{NO}_x$  при смешевых составах с добавлением СУРМ относительно чистому ДТ в процентном отношении составляет 10,14 % и 30,63 % для смесей с добавлением СУРМ. В диапазоне установочного угла  $\Theta_{\text{впр}}$  от  $6^\circ$  до  $30^\circ$  п.к.в. происходит рост содержания оксидов азота  $\text{NO}_x$  в ОГ.

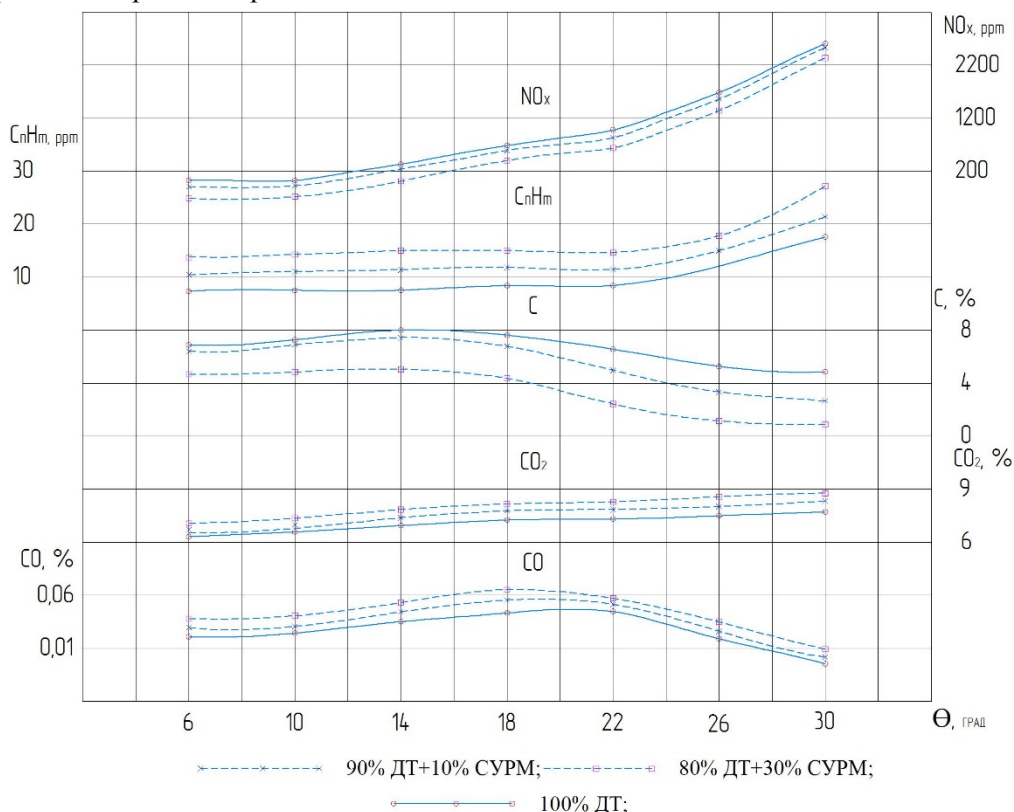


Рис. 2. Регулировочная характеристика дизеля 4ЧН 11,0/12,5 при  $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$  (показатели дымности и токсичности)

Выбросы несгоревших углеводородов  $\text{C}_n\text{H}_m$  в ОГ дизеля сопровождаются ростом во всем диапазоне установочного угла, но с увеличением содержания СУРМ в смеси по сравнению с чистым ДТ выбросы  $\text{C}_n\text{H}_m$  возрастают. При установочном угле опережения впрыскивания топлива  $\Theta_{\text{впр}}=22^\circ$  и при работе на чистом ДТ выбросы углеводородов составляют 8,37 ppm, а на топливах с добавлением 10 % и 20 % СУРМ выбросы углеводородов составляют 12,12 ppm соответственно. Следовательно, в процентном соотношении рост выбросов  $\text{C}_n\text{H}_m$  в ОГ с применением СУРМ к чистому ДТ составил 44,38 % и 80,03 %. Увеличение несгоревших углеводородов при работе дизеля с добавками СУРМ можно объяснить наличием многочисленных плохо горящих компонентов [11].

Изменение концентрации диоксида углерода  $\text{CO}_2$  в ОГ дизеля в зависимости от состава топлива и всего диапазона установочного угла незначительно возрастает. Так, при значении установочного угла опережения впрыскивания топлива  $\Theta_{\text{впр}}=22^\circ$  п.к.в., и при работе на чистом ДТ содержание диоксида углерода  $\text{CO}_2$  составляет 6,96 %, при работе на смесях 90 % ДТ + 10 % СУРМ и 80 % ДТ + 20 % СУРМ их содержание составляет 6,68 % и 7,96 %. Выбросы диоксида углерода  $\text{CO}_2$  с ОГ несущественно увеличиваются с увеличением концентрации в процентном соотношении это составляет 6,65 % и 13,11 %. Диоксид углерода является менее опасным для человека с физиологической точки зрения, чем другие нормируемые компоненты ОГ дизеля [11].

Работа дизеля на смешевых составах с добавлением СУРМ сопровождается повышением выбросов оксидов углерода CO в сравнении с работой на чистом ДТ при всех исследуемых значениях установочных углов  $\Theta_{\text{впр}}$ . Так, для смесей 90 % ДТ + 10 % СУРМ и 80 % ДТ + 20 % СУРМ и значении установочного угла опережения впрыскивания топлива  $\Theta_{\text{впр}}=22^\circ$  п.к.в., выброс CO составляет 0,035 % и 0,028 а также для чистого ДТ выброс CO составляет 0,039 %. Концентрация CO в ОГ на смесях 90 % ДТ + 10 % СУРМ и 80 % ДТ + 20 % СУРМ больше, чем на чистом ДТ в процентном отношении на 22,35 %, 45,31 %. Рост выбросов оксидов углерода CO объясняется исходными составами используемых топлив [11].

## Заключение

На основе анализа полученных исследований сформулируем следующие основные выводы:

1. Показатели работы дизеля на чистом дизельном топливе соответствуют паспортным данным и достигаются при регламентированном значении установочного угла опережения впрыскивания топлива  $\Theta_{впр.}=18^\circ$ . При работе дизеля на смесях 90 % ДТ + 10 % СУРМ и 80 % ДТ + 20 % СУРМ с рациональным установочным углом опережения впрыскивания следует считать угол  $\Theta_{впр.}=22^\circ$ .

2. Эффективные показатели работы дизеля на смесях с добавлением СУРМ относительно работы на чистом ДТ показывает незначительное снижение мощности на 1,15 % и 4,79 %, снижение крутящего момента на 5,29 % и 17,34 %, снижение значения эффективного КПД на 3,15 % и 8,32, и несущественное увеличение удельного эффективного расхода топлива на 13,85 % и 19,88 %.

3. Экологические показатели работы дизеля на смесях с добавлением СУРМ относительно работы на чистом ДТ сопровождаются снижением сажи на 34,85 % и 59,96 %, снижением оксидов азота на 10,14 % и 30,63 %, незначительным увеличением диоксида углерода на 6,65% и 13,11 %, несущественным увеличением оксидов углерода на 19,35 % и 34,31 %.

4. Применение смесей 90 % ДТ + 10 % СУРМ и 80 % ДТ + 20 % в качестве топлива для дизеля 4ЧН 11,0/12,5 позволяет улучшить их эксплуатационные показатели путем сокращения расхода ДТ.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия: ГОСТ 5542-87. – Введ. 01.07.2015. – Москва: Стандартинформ, 2015. – 8 с.

2. Карташевич, А. Н. Альтернативные виды топлива для двигателей / А. Н. Карташевич, В. С. Товстыка, П. Ю. Малышкин, Г. Н. Гурков, А. В. Бучинский // Горки: БГСХА – 2012. – С. 376.

3. Карташевич, А. Н. Применение топлив на основе рапсового масла в тракторных дизелях: монография / А. Н. Карташевич, С. А. Плотников, В. С. Товстыка. – Киров: Типография «Авангард», 2014. – 144 с.: ил.

4. Плотников, С. А. Недостатки применения топлив на основе рапсового масла в дизельных двигателях. Актуальные направления научных исследований XXI века: Теория и практика / С. А. Плотников, П. Н. Черемисинов // Сб. науч. тр. по мат. заоч. науч.-практ. конф. – Воронеж: ООО ИПЦ «Научная книга», 2015. – № 4. – Ч. 1 (15-1) – С. 97–101.

5. Плотников, С. А. Влияние присадок на кинематическую вязкость топлив на основе рапсового масла. Общество, наука, инновации. (НПК-2016) [Электронный ресурс] / С. А. Плотников, П. Н. Черемисинов // Всерос. ежегод. науч.-практ. конф.: сб. статей, 18-29 апреля 2016 г. / Вят. гос. ун-т. – Киров, 2016. – С. 1378–1382.

6. Белов, В. М. Применение в дизелях топлива растительного происхождения / В. М. Белов, С. Н. Девянин, О. Н. Слепцов // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. – 2003.

7. Девянин, С. Н. Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей / С. Н. Девянин, В. А. Марков, В. Г. Семенов. – М.: Издательский центр ФГОУ ВПО МГАУ, 2008. – 340 с.

8. Карташевич, А. Н. Оптимизация параметров топливоподачи тракторного дизеля для работы на рапсовом масле / А. Н. Карташевич, В. С. Товстыка, С. А. Плотников // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – № 3. – С. 13–16.

9. Модернизация системы питания тракторного дизеля 4ЧН 11,0/12,5 для работы на этано-топливной эмульсии / С. А. Плотников [и др.] // Молочнохозяйственный вестник. – 2017. – №2 (26) II кв. – С. 110–118.

10. Терентьев, Г. А. Моторные топлива из альтернативных сырьевых ресурсов / Г. А. Терентьев, В. М. Трюков, Ф. В. Смаль. – М.: Химия, 1989. – 272 с.

11. Образование и разложение загрязняющих веществ в пламени. Пер. с англ. / Под ред. Ю. Ф. Дитякина. – М.: Машиностроение, 1981. – 408 с.