

Энергетическое, металлургическое и химическое машиностроение

УДК 621.436, 631.563 (075.8)

doi: 10.18698/0536-1044-2022-1-39-52

Исследование возможностей использования соевого масла как экологической добавки в нефтяное дизельное топливо

С.Н. Девянин¹, В.А. Марков², А.Г. Левшин¹,
Т.П. Кобозева¹, В.А. Неверов²

¹ Российский государственный агроинженерный университет Московской сельскохозяйственной академии им. К.А. Тимирязева

² МГТУ им. Н.Э. Баумана

Investigation of the Possibilities of Using Soybean Oil as an Ecological Additive to Petroleum Diesel Fuel

S.N. Devyanin¹, V.A. Markov², A.G. Levshin¹, T.P. Kobozeva¹, V.A. Neverov²

¹ Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy

² Bauman Moscow State Technical University

Одним из важных направлений совершенствования двигателей внутреннего сгорания является их адаптация к работе на альтернативных топливах. Перспективными альтернативными топливами считаются моторные топлива, получаемые из возобновляемого растительного сырья. Исследована возможность использования соевого масла в качестве экологической добавки в нефтяное дизельное топливо. Рассмотрены особенности производства соевого масла и физико-химические свойства его и смеси, содержащей 80 % (по объему) нефтяного дизельного топлива и 20 % соевого масла. Проведены расчетные исследования процессов распыливания топлива и смесеобразования в дизеле Д-245 при работе на смесях нефтяного дизельного топлива и растительного масла. Выполнены экспериментальные исследования дизеля Д-245, работающего на нефтяном дизельном топливе и указанном смесевом топливе. Перевод дизеля с нефтяного топлива на смесевое приводит к снижению интегральных выбросов токсичных компонентов за цикл испытаний: оксидов азота — на 19,1 %, монооксида углерода — на 10,5 %, несгоревших углеводородов — на 8,9 %.

Ключевые слова: дизельный двигатель, нефтяное дизельное топливо, соевое масло, смесевое топливо, экологическая добавка, токсичность ОГ

One of the most important areas of internal combustion engine improvement is its adaptation to work on alternative fuels. Motor fuels obtained from renewable plant raw materials are considered to be promising alternative fuels. The article considers the possibility of using soybean oil as an ecological additive in petroleum diesel fuel. The features of soybean oil production and the physico-chemical properties of soybean oil and a mixture containing 80 % (by volume) of petroleum diesel fuel and 20 % of soybean oil are researched. Computational studies of the processes of fuel atomization and mixture formation in the D-245 diesel

engine operating on mixtures of petroleum diesel fuel and seed oil have been performed. Experimental studies of the D-245 diesel engine operating on petroleum diesel fuel and the specified blended fuel have been carried out. Conversion of a diesel engine from petroleum fuel to mixed one leads to a decrease in integral emissions per test cycle: nitrogen oxides by 19.1 %, carbon monoxide — by 10.5 %, unburned hydrocarbons — by 8.9 %.

Keywords: diesel engine, petroleum diesel fuel, soybean oil, mixed fuel, ecological additive, exhaust gas toxicity

На современном этапе развития двигателестроения одним из самых актуальных направлений совершенствования двигателей внутреннего сгорания является более широкое использование альтернативных топлив [1, 2]. Это обусловлено все более острыми экологическими проблемами и появившейся тенденцией отказа от традиционных нефтяных моторных топлив, вызванной попытками введения углеродного налога [3, 4].

К перспективным альтернативным топливам для дизельных двигателей (далее дизели) относятся биотоплива, получаемые из растительного сырья. Среди биотоплив, нашедших наибольшее применение в дизелях, выделяют растительные масла (РастМ) и их производные — сложные эфиры РастМ [5, 6]. Несмотря на проблемы, возникающие при эксплуатации дизелей на РастМ и их эфирах, продолжают исследования их работы на этих биотопливах и их смесях с другими топливами, в основном с нефтяным дизельным топливом (НДТ) [7, 8].

Применение РастМ в качестве самостоятельного топлива затруднено различиями физико-химических свойств РастМ и НДТ [9, 10]. Это сопровождается проблемами, возникающими при адаптации дизелей к работе на биотопливах. Одна из этих проблем — невысокое качество процессов топливоподачи, распыливания масел и смесеобразование, вызванное их утяжеленным фракционным составом. В связи с этим биотоплива часто используют как добавку в НДТ [11–13].

В качестве моторного топлива или экологических присадок к НДТ чаще всего применяют следующие масла: рапсовое, подсолнечное, пальмовое и соевое (СМ) [5, 6]. Целесообразность использования СМ объясняется прежде всего широкой сырьевой базой для его получения.

В 2020 г. мировое производство всех РастМ составило около 200 млн т. При этом доля пальмового масла составила 78 млн т, соевого — 55 млн т, рапсового — 25 млн т, подсолнечного — 21 млн т. Среди других видов РастМ

следует отметить такие масла, как кукурузное (маисовое), оливковое, арахисовое, хлопковое, льняное, горчичное, касторовое, конопляное, кунжутное (сезамовое), маковое, миндальное и рыжиковое.

В качестве экологической добавки к НДТ соевое масло подходит больше, чем пальмовое. Плотность, вязкость и температура застывания СМ ниже, чем у пальмового масла. Наличие (до 60 %) олеиновой и линолевой жирных кислот в составе СМ делает его применение в этой области малопроблемным [14, 15].

В России сою возделывают прежде всего как ценную высокобелковую культуру (содержание белка в семенах составляет около 40 %) для производства кормов (соевого шрота). Коэффициент конвертации сои в мясо (птицы или свиньи) близок к единице, т. е. на 1 кг мяса требуется 1 кг зерна сои [15, 16]. При этом СМ является побочным продуктом производства соевого шрота для откорма сельскохозяйственных животных.

В России СМ (в семенах сои содержится 20...27 % СМ), несмотря на высокую пищевую ценность (соответствующую стандарту ФАО/ВОЗ), практически не используют в пищевых целях из-за специфического вкуса и отсутствия пищевых традиций.

Успехи российских селекционеров, генетиков и создание в последние три десятилетия сортов сои северного экотипа позволили интродуцировать эту культуру в европейскую часть страны, существенно продвинув ее на север (до 56° северной широты) и увеличив площадь возделывания с 500 тыс. га (в 1990 г.) до 3 млн га (в 2020 г.), при валовом сборе зерна около 3 млн т и производстве СМ 0,6 млн т/год [15].

Известно, что по физико-химическим свойствам СМ во многом аналогично маслам других растительных культур [17, 18–21]. При нормальных условиях температура застывания составляет –15...–18 °С плотность СМ 915...930 кг/м³, кинематическая вязкость — 59...72 мм²/с, йодное число — 120...141 ед. Основные свойства СМ и НДТ близки. Это позволяет без существенных

изменений конструкции дизеля использовать СМ в качестве моторного топлива, решив проблему высокой вязкости.

Эту проблему решают разными способами. Вводят в систему питания дополнительный подогреватель для масла (в случае непосредственного применения СМ) или смешивают его с НДТ. Применяют также технологию получения биодизельных топлив (сложных эфиров РаСтМ), получаемых путем этерификации жиров растительного происхождения метиловым, этиловым или бутиловым спиртом в присутствии катализатора [5].

При этом из РаСтМ удаляют высоковязкий глицерин, что позволяет получать биодизельное топливо, близкое по свойствам к нефтяному, но несколько удорожает процесс применения масла в качестве топлива [22, 23].

Для широкого использования СМ в качестве топлива в сельскохозяйственном производстве наиболее привлекателен способ применения смесового топлива (СмТ), состоящего из НДТ и СМ [24]. Он не требует ни сложного технологического оборудования для химической переработки масла в биодизельное топливо, ни модернизации дизеля, в частности его оснащения системой подогрева масла при подаче в цилиндры в чистом виде. При этом существенно сокращаются транспортные расходы.

При смешивании СМ и НДТ традиционными методами в любых пропорциях образуются стабильные смеси, которые могут храниться длительное время, поэтому такая технология использования СМ в качестве моторного топлива особенно интересна для проверки на серийном дизеле.

Цель работы — анализ возможностей использования СМ как экологической добавки в НДТ.

Особенности производства СМ и его физико-химические свойства. Опыты по выращиванию сои (в 2008–2019 гг.) проводили на опытном поле Российского государственного агроинженерного университета Московской сельскохозяйственной академии им. К.А. Тимирязева на районированных ультраскороспелых сортах северного экотипа: Магева, Светлая, Окская.

Закладку опытов и анализ результатов исследований осуществляли в соответствии со стандартными апробированными методиками [15]. Химический анализ семян выполняли во Всероссийском НИИ сои (г. Благовещенск) на установке NIR-42.

Многолетние исследования показали, что сою можно успешно возделывать в условиях высоких широт (в том числе в Центральном Нечерноземье) при среднем уровне урожайности 1,94...2,62 т/га (табл. 1).

Максимальная урожайность у всех сортов сои наблюдалась в годы с оптимальной влагообеспеченностью: у сорта Окская — 2,95 т/га, у сорта Магева — 2,74 т/га, у сорта Светлая — 3,12 т/га. Установлено, что влагообеспеченность — важный фактор, ограничивающий продуктивность сои. Являясь культурой субтропической зоны, соя в большей степени реагирует на недостаток влаги, чем на ее избыток. Кроме того, при низкой влагообеспеченности посевов практически отсутствует биологическая азотфиксация, свойственная всем бобовым культурам, снижается урожай, ухудшается его качество и азотное питание.

Таблица 1

Урожайность и белковая продуктивность сои сортов северного экотипа в разные по влагообеспеченности годы

Влагообеспеченность	Урожайность сои, т/га				Сбор белка, кг/га			
	Окская	Магева	Светлая	В среднем по сортам	Окская	Магева	Светлая	В среднем по сортам
Избыточная	2,87	2,56	3,02	2,81	1148	1024	1208	1126
Оптимальная	2,95	2,74	3,15	2,94	1180	1096	1260	1178
Недостаточная	1,34	1,44	1,69	1,49	537	576	677	597
В среднем по годам*	1,94	2,24	2,62	2,41	995	898	1048	967

* Для урожайности сои наименьшая существенная разность для 5%-ного уровня значимости HC_{P05} составляет 0,079 т/га, для сбора белка — 36 кг/га.

В годы с недостаточной влагообеспеченностью урожайность всех сортов сои была существенно меньше (в среднем по сортам в 1,99 раза), чем в оптимальных условиях влагообеспеченности. Избыточное увлажнение также приводило к падению продуктивности посевов, но в меньшей степени: в среднем по опыту в 1,04 раза, что не превышало его погрешность.

Белковая продуктивность, в среднем по опыту составившая 967 кг/га, была максимальной в условиях оптимальной влагообеспеченности (1178 кг/га) и существенно (в 1,97 раз) снижалась при дефиците влаги. При этом самый высокий сбор белка отмечался у сорта Светлая (1048 кг/га).

Содержание масла в семенах сои изучаемых сортов в среднем по опыту составило 19...21 %, при этом в его составе преобладали ненасыщенные жирные кислоты, что обуславливает его высокую пищевую ценность. Их доля в среднем составила 69,71 % (табл. 2). Важно, что содержание в СМ наиболее ценных для биодизеля олеиновой и линолевой жирных кислот было высоким (достигало 60 %) и не уступало сортам южного происхождения.

Масличная продуктивность сортов сои в среднем по опыту, составившая 482 кг/га, была существенно меньше (в 1,90 раз) в засушливые годы и незначительно ниже (в 1,04 раза) в годы с избыточным увлажнением. Максимальная

Таблица 2

Содержание масла в семенах сои и жирных кислот в масле сортов северного экотипа в среднем по опыту

Компонент	Содержание, %			В среднем по сортам
	Окская	Магева	Светлая	
Масло	21	19	19	20
<i>Насыщенные жирные кислоты</i>				
Пальмитиновая (П)	11,48	11,46	11,40	11,44
Стеариновая (С)	3,89	3,86	3,84	3,86
П + С	15,37	15,32	15,23	15,31
<i>Ненасыщенные жирные кислоты</i>				
Олеиновая — мононенасыщенная (О)	9,90	9,78	9,65	9,78
Линолевая — полиненасыщенная (Л1)	50,76	50,15	49,55	50,15
Линоленовая — полиненасыщенная (Л2)	6,70	6,91	8,11	7,24
О + Л1	60,60	59,96	59,20	59,93
О + Л1 + Л2	70,50	69,74	68,85	69,71

Таблица 3

Масличная продуктивность сои сортов северного экотипа в разные по влагообеспеченности годы

Влагообеспеченность	Сбор, кг/га							
	масла				ненасыщенных жирных кислот (олеиновой + линолевой)			
	Окская	Магева	Светлая	В среднем по сортам	Окская	Магева	Светлая	В среднем по сортам
Избыточная	574	512	604	563	347	306	357	337
Оптимальная	590	548	630	589	357	329	373	353
Недостаточная	268	288	338	298	162	345	200	235
В среднем по годам*	388	448	524	482	289	327	310	308

* При сборе масла наименьшая существенная разность для 5%-ного уровня значимости НСР₀₅ составляет 31 кг/га, при сборе ненасыщенных жирных кислот — 19 кг/га.

Таблица 4

Физико-химические свойства исследуемых топлив

Свойство	Вид топлива			Изменение СмТ относительно НДТ
	НДТ	СМ	80 % НДТ + 20 % СМ	
Плотность при 20 °С, кг/м ³	830,00	923,00	848,60	1,02
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² /с	3,80	65,00	8,00	2,11
Коэффициент поверхностного натяжения при 20 °С, мН/м	27,1	33,0	–	–
Низшая теплота сгорания, МДж/кг	42,50	37,30	41,46	0,98
Цетановое число	45	38	–	–
Температура самовоспламенения, °С	250	310	–	–
Температура помутнения, °С	–25	–10	–	–
Температура застывания, °С	–35	–18	–	–
Количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг топлива, кг	14,160	12,380	13,804	0,970
Содержание, % по массе:				
С	87,00	77,50	85,10	0,98
Н	12,60	11,50	12,40	0,98
О	0,4	11,0	2,5	6,3
Общее содержание серы, % по массе	0,200	0,005	0,161	0,810

Примечание. Прочерк «–» означает, что свойство не определяли.

масличная продуктивность, наблюдавшаяся у сорта Светлая в условиях оптимальной влагообеспеченности, составила 630 кг/га при самом высоком выходе олеиновой и линолевой жирных кислот — 373 кг/га (табл. 3).

При исследовании возможностей использования СМ как экологической добавки в НДТ проведены испытания дизеля автотракторного типа. В качестве топлив выбраны НДТ и СмТ, содержащее (по объему) 80 % НДТ + 20 % СМ. В табл. 4 приведены физико-химические свойства НДТ, СМ и их смеси.

Особенности процессов распыливания топлива и смесеобразования при работе дизеля на биотопливах. При адаптации дизелей к рассматриваемым биотопливам особое внимание уделяют процессам топливоподачи, распыливания топлива и смесеобразования, поскольку, как правило, происходит ухудшение этих процессов из-за различия свойств НДТ и РастМ [5]. Последние отличаются от НДТ более тяжелым фракционным составом, повышенными плотностью, вязкостью и сжимаемостью, худшей испаряемостью.

Указанные различия свойств РастМ и НДТ сказываются на процессах распыливания топ-

лива и смесеобразования следующим образом: увеличивается средний диаметр капель топлива, уменьшается угол раскрытия струи топлива, повышается дальнобойность струй топлива, возрастает доля пленочного смесеобразования. Структура струи топлива в поперечном сечении становится более неравномерной.

Поэтому при организации процесса смесеобразования в дизелях, работающих на РастМ, в ряде случаев необходимо обеспечить согласование геометрических размеров струй топлива с формой камеры сгорания (КС) и улучшение качества распыливания топлива.

В работе [5] приведены данные по динамике развития струй топлива в автотракторном дизеле. Его система топливоподачи содержала форсунки с распылителями с двумя отверстиями диаметром $d_p = 0,38$ мм и суммарной эффективной площадью распылителя в сборе $\mu_p f_p = 0,16$ мм².

Форсунки были отрегулированы на давление начала впрыска $p_{ф0} = 20$ МПа. Динамика развития струй распыливаемого топлива исследована при номинальном режиме с частотой вращения кулачкового вала $n_{к,ном} = 1400$ мин⁻¹ и цикловой подачей $q_{ц} = 60$ мм³.

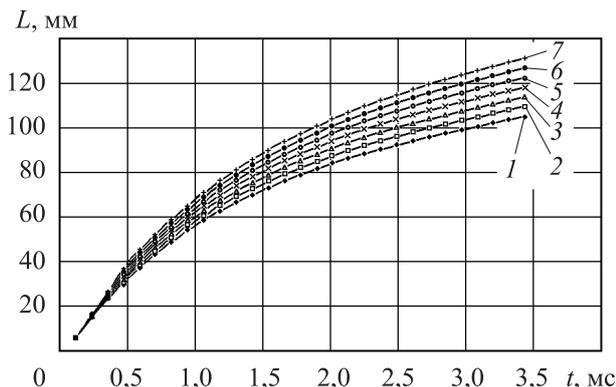


Рис. 1. Расчетная зависимость длины струи топлива L от времени t при впрыске топлива плотностью $\rho = 700$ (1), 750 (2), 800 (3), 850 (4), 900 (5), 950 (6) и 1000 кг/м^3 (7)

Параметры воздушного заряда приняты следующими: давление $p = 1,6$ МПа, температура $T = 293$ К. Задан закон подачи, формируемый системой топливоподачи. Расчетные зависимости длины струи топлива L от времени t при впрыске топлива плотностью $\rho = 700, 750, 800, 850, 900, 950$ и 1000 кг/м^3 показаны на рис. 1.

Анализ приведенных на рис. 1 данных свидетельствует о влиянии плотности топлива на длину его струй. В частности, увеличение плотности топлива с 830 до 923 кг/м^3 (что соответствует переводу дизеля с НДТ на СМ) приводит к росту длины струи с 115 до 124 мм (в момент времени $t = 3,45$ мс), т. е. на $7,8$ %.

При переводе дизеля с НДТ на СМТ (80 % НДТ + 20 % СМ) плотность топлива увеличивается с 830 до 848 кг/м^3 , а длина его струи со 115 до 118 мм, т. е. на $2,6$ %. Однако такое влияние плотности топлива на длину струи топлива при

переводе дизеля на указанную смесь можно считать незначительной.

Зависимости процессов распыливания топлива и смесеобразования от свойств РаствМ отмечены и в статье [25]. Для моделирования рабочего процесса дизеля Д-245, работающего на НДТ и его смесях с рапсовым маслом (РМ), имеющим сходные с СМ физико-химические свойства, использован программный комплекс ДИЗЕЛЬ-РК, разработанный профессором А.С. Кулешовым.

Расчетные показатели процесса распыливания исследуемых топлив и смесеобразования в номинальном режиме (при частоте вращения коленчатого вала $n = 2400$ мин^{-1} и цикловой подаче топлива $q_{\text{ц}} = 80$ мм^3) приведены в табл. 5. Эти характеристики получены в диапазоне объемной концентрации РМ в смесевом биотопливе от 0 (работа на НДТ) до 100 % (работа на РМ).

Отмечена тенденция ухудшения характеристик процессов впрыска и распыливания топлива с увеличением содержания РМ в смеси с НДТ. Так, в диапазоне содержания РМ в смеси 0...100 % средний диаметр капель по Заутеру $d_{\text{к.ср}}$ возрастает с $24,3$ до $39,4$ мкм, длина струи на момент окончания впрыска L увеличивается с $41,9$ до $48,4$ мм, угол раскрытия внешнего контура струи γ уменьшается от $20,8$ до $15,8^\circ$.

С ростом концентрации РМ в смеси с НДТ от 0 до 100 % доля топлива в ядре струи $S_{\text{ядр}}$ возрастает с $5,8$ до $23,1$ %, доля топлива в оболочке струи $S_{\text{об}}$ уменьшается от $77,1$ до $34,9$ %, доля топлива в оболочке пристеночного потока $S_{\text{пр}}$ увеличивается с $17,1$ до $42,0$ %.

Таблица 5

Расчетные показатели процесса распыливания исследуемых топлив

Показатель	Вид топлива					
	НДТ	80 % НДТ + 20 % РМ	60 % НДТ + 40 % РМ	40 % НДТ + 60 % РМ	20 % НДТ + 80 % РМ	РМ
Средний диаметр капель по Заутеру d_{32} , мкм	24,3	28,0	31,0	34,0	36,6	39,4
Длина струи на момент окончания впрыска топлива L , мм	41,9	43,4	44,8	46,1	47,3	48,4
Угол раскрытия внешнего контура струи на момент окончания впрыска топлива γ , град	20,8	19,6	18,5	17,5	16,6	15,8
Доля топлива в оболочке струи $S_{\text{об}}$, %	77,1	69,1	61,8	50,7	40,8	34,9
Доля топлива в ядре струи $S_{\text{ядр}}$, %	5,8	8,1	10,3	13,1	17,3	23,1
Доля топлива в оболочке пристеночного потока $S_{\text{пр}}$, %	17,1	22,8	27,9	36,2	41,9	42,0

Представленные данные (см. табл. 5) свидетельствуют о том, что при переводе дизеля с НДТ на СмТ, содержащее 80 % НДТ и 20 % РМ, показатели распыливания топлива изменяются незначительно: на момент окончания впрыска длина струи увеличилась с 41,9 до 43,4 мм (на 3,6 %), угол раскрытия внешнего контура струи уменьшился с 20,8 до 19,6 (на 5,8 %), средний диаметр капель по Заутеру возрос с 24,3 до 28,0 мкм (на 15,2 %). Это свидетельствует о возможности перевода исследуемого дизеля с НДТ на СмТ, содержащее 80 % НДТ и 20 % РМ.

Экспериментальные исследования дизеля на НДТ и смесевом биотопливе. Экспериментальные исследования проведены на дизеле Д-245 (4 ЧН 11/12,5). Этот дизель производства Минского моторного завода устанавливают на малотоннажные грузовики ЗиЛ-5301 «Бычок», а его модификации — на автобусы Павловского автомобильного завода и тракторы «Беларусь» Минского тракторного завода.

Основные параметры дизеля Д-245 (4 ЧН 11/12,5)

Тип двигателя	Четырехтактный, рядный, дизельный
Число цилиндров	4
Общий рабочий объем, л	4,32
Степень сжатия	16
Номинальная частота вращения, мин ⁻¹	2400
Номинальная мощность, кВт	80
Система охлаждения	Водяная, принудительная

Тип системы питания	Разделенный ТНВД
	Рядный типа РР4М10U1f
	фирмы Motorpal с всережимным центробежным регулятором
Угол опережения впрыска топлива, град до ВМТ ..	13
Тип форсунок	ФДМ-22
Распылители форсунок	DOP 119S534
	фирмы Motorpal
Давление начала впрыска форсунок, МПа	21,5

Примечание. ТНВД — топливный насос высокого давления; ВМТ — верхняя мертвая точка.

В дизеле Д-245.12С использована КС типа ЦНИДИ и организовано объемно-пленочное (пристеночное) смесеобразование с частичным попаданием топливных струй на стенки КС, прилегающие к горловине (рис. 2) [5]. Это позволяет обеспечить стабильное воспламенение РМ и его смесей с НДТ, отличающихся от НДТ несколько худшей воспламеняемостью.

Моторный стенд оборудовали комплектом необходимой измерительной аппаратуры. Концентрации токсичных компонентов (СО, СН_x, NO_x) в отработавших газах (ОГ) дизеля определяли газоанализатором SAE-7532 японской фирмы Yanaco с погрешностью измерения ±1 %. Дымность ОГ измеряли дымомером МК-3 фирмы Hartridge (Великобритания) с погрешностью измерения ±1 %.

Дизель исследовали на НДТ и СмТ, содержащем 80 % НДТ и 20 % См, в режимах предельной регуляторной характеристики, формируемой при частоте вращения коленчатого вала $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$. Режимы этой характеристики являются основными режимами работы дизе-

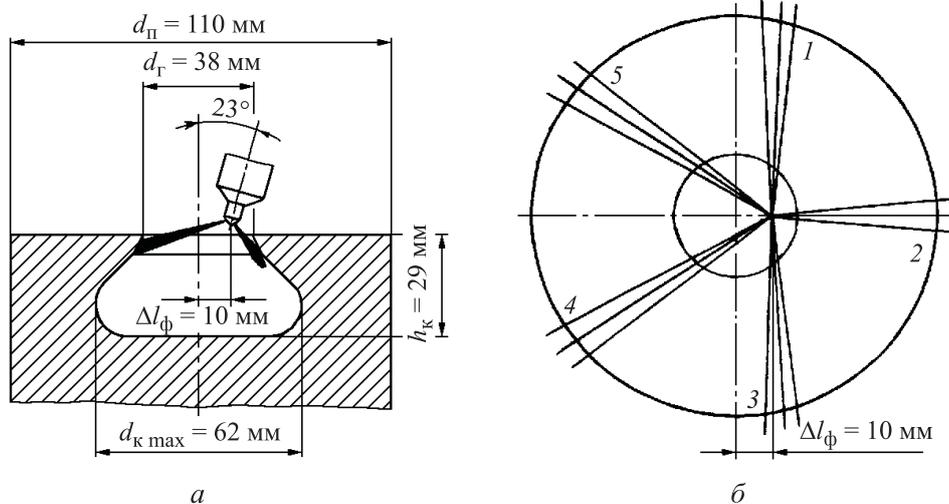


Рис. 2. Схемы КС дизеля Д-245.12С с форсункой (а) и ориентации струй распыливаемого топлива в КС (б): 1, ..., 5 — номера струй распыливаемого топлива; $d_п$ — диаметр поршня; $d_г$ — диаметр горловины КС; $d_{к \text{ max}}$ — максимальный диаметр КС; $\Delta l_ф$ — смещение носка форсунки относительно оси цилиндра; $h_к$ — глубина КС

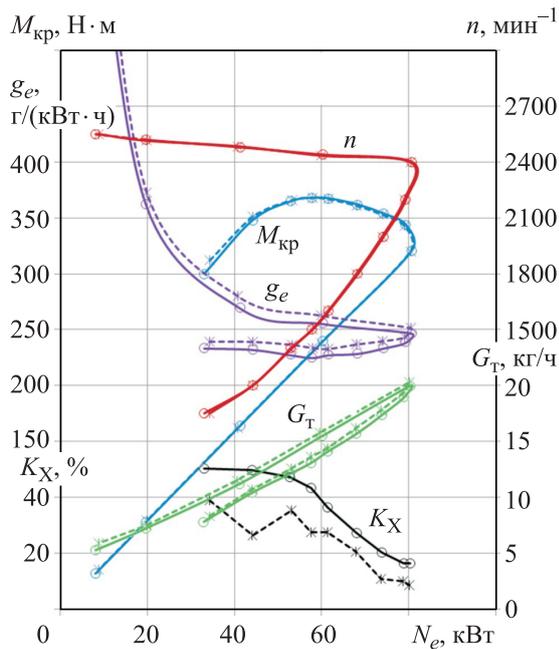


Рис. 3. Регуляторная характеристика дизеля Д-245 при работе на НДТ (—) и СмТ, содержащем 80 % НДТ и 20 % СМ, (---)

лей тракторов и комбайнов, выполняющих основные технологические операции (прямое комбайнирование, пахота и др.).

По физико-химическим свойствам такое СмТ ближе к НДТ. При этом плотность и вязкость СмТ все-таки несколько выше, чем у НДТ (см. табл. 4). Это могло явиться причиной небольшого увеличения часового расхода топлива G_T топливной системой (рис. 3) при переходе от НДТ к исследуемому СмТ, так как дополнительных регулировок дизеля и топливной аппаратуры не проводилось. Несмотря на увеличение расхода топлива, крутящий момент $M_{кр}$ и эффективная мощность N_e дизеля практически не изменились.

Как следует из результатов испытаний (см. рис. 3), мощностные показатели двигателя остались практически неизменными (изменение крутящего момента и эффективной мощности не превышает 1 %, т. е. находится в пределах погрешности измерения) несмотря на отсутствие дополнительных регулировок ТНВД. Характер изменения частоты вращения коленчатого вала n при варьировании эффективной мощности дизеля также сохраняется.

Следовательно, перевод дизеля трактора или комбайна на СмТ, содержащее 80 % НДТ и 20 % СМ, не повлияет на их производительность и не потребует дополнительного регулирования машины и ее дизеля.

Дизель Д-245 исследован также на режимах внешней скоростной характеристики (ВСХ) и 13-режимного испытательного цикла Правил 49 ЕЭК ООН (нормы ЕСЕ R49). Эти режимы являются основными для дизелей тракторов и комбайнов, выполняющих транспортные работы (в частности, при движении сельскохозяйственных машин к месту работы). При этом основными являются режимы максимальной (номинальной) мощности (рис. 4, № 8) и максимального крутящего момента (№ 6).

Результаты исследования дизеля в режимах ВСХ приведены в табл. 6. При переходе с НДТ на СмТ, содержащее 80 % НДТ и 20 % СМ, изменяются часовая G_T и удельный эффективный g_e расходы топлива. Так, в режиме максимальной мощности с частотой вращения коленчатого вала $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ часовая расход топлива G_T увеличился с 20,1 до 20,4 кг/ч (на 1,5 %), а удельный эффективный расход g_e — с 248,4 до 253,0 г/(кВт·ч), т. е. на 1,8 %.

В режиме максимального крутящего момента при $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$ часовая расход топлива G_T повысился с 13,1 до 13,5 кг/ч (на 3 %), а удельный эффективный расход топлива g_e — с 226,2 до 232,2 г/(кВт·ч) или на 2,6 %.

Эффективный коэффициент полезного действия дизеля η_e в режиме максимального кру-

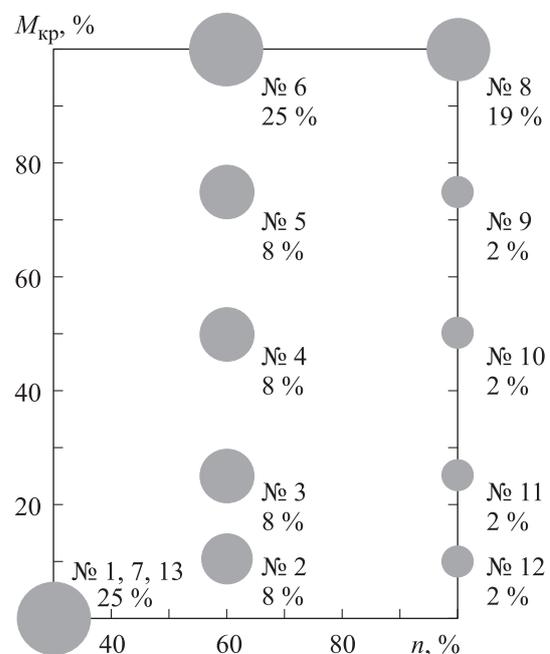


Рис. 4. Испытательный 13-режимный цикл ЕСЕ R49 для оценки токсичности ОГ дизелей в стендовых условиях (у каждого режима, отмеченного кружком, указаны номер и доля (коэффициент весомости режима K_i) в общем времени работы дизеля)

Таблица 6

Показатели дизеля Д-245, работающего на НДТ и СМТ в режимах ВСХ

Показатель	НДТ	СМТ (80 % НДТ + 20 % СМ)	Изменение показателя
Часовой расход топлива G_t , кг/ч	20,1/13,1	20,4/13,5	1,015/1,031
Крутящий момент дизеля $M_{кр}$, Н·м	322/368	320/368	0,994/1,000
Удельный эффективный расход топлива g_e , г/(кВт·ч)	248,4/226,2	253,0/232,2	1,019/1,027
Эффективный коэффициент полезного действия η_e	0,341/0,374	0,343/0,374	1,006/1,000
Дымность ОГ K_x по шкале Хартриджа, %	16/43	8/27	0,500/0,628

Примечание. В числителе дроби указаны значения для режима максимальной мощности, в знаменателе — для режима максимального крутящего момента.

Таблица 7

Экологические показатели дизеля Д-245

Показатель, г/(кВт·ч)	НДТ	СМТ (80 % НДТ + 20 % СМ)	Снижение показателя	
			$e_{СМТ} / e_{НДТ}$	%
e_{NO_x}	7,02	5,68	0,809	19,1
e_{CO}	1,72	1,54	0,895	10,5
e_{CH_x}	0,79	0,72	0,911	8,9

тящего момента не уменьшился, а в режиме максимальной мощности при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ даже несколько вырос (см. табл. 6). Это позволяет сделать вывод о том, что эффективность дизеля на СМТ не хуже, чем на НДТ, а увеличение удельного расхода топлива G_t отчасти компенсируется снижением теплоты сгорания СМТ примерно на 2 % относительно таковой для НДТ.

Наличие в СМТ увеличенного (примерно в 6,3 раза) содержания кислорода по сравнению с НДТ (см. табл. 4) привело к заметному уменьшению дымности ОГ K_x на режимах ВСХ.

Так, в режиме максимальной мощности при $n = 2400 \text{ мин}^{-1}$ переход от НДТ на СМТ сопровождался снижением K_x от 16 до 8 % по шкале Хартриджа, т.е. в 2 раза (см. табл. 6). В режиме максимального крутящего момента при $n = 1500 \text{ мин}^{-1}$ отмечено снижение дымности ОГ от 43 до 27 % по шкале Хартриджа, т.е. в 1,6 раза.

Экологические характеристики дизеля Д-245 оценивали по результатам его экспериментальных исследований в режимах 13-режимного испытательного цикла, показанного на рис. 4. Значения интегральных удельных массовых выбросов токсичных компонентов ОГ дизеля,

работающего на режимах 13-режимного испытательного цикла ECE R49, рассчитывали по общепринятой методике [5].

Интегральные удельные массовые выбросы оксидов азота e_{NO_x} , монооксида углерода e_{CO} и легких несгоревших углеводородов e_{CH_x} определяются следующими выражениями:

$$e_{NO_x} = \frac{\sum_{i=1}^{13} E_{NO_{xi}} K_i}{\sum_{i=1}^{13} N_{ei} K_i}; \quad e_{CO} = \frac{\sum_{i=1}^{13} E_{COi} K_i}{\sum_{i=1}^{13} N_{ei} K_i};$$

$$e_{CH_x} = \frac{\sum_{i=1}^{13} E_{CH_{xi}} K_i}{\sum_{i=1}^{13} N_{ei} K_i},$$

где $E_{NO_{xi}}$, E_{COi} и $E_{CH_{xi}}$ — массовые выбросы оксидов азота, монооксида углерода и легких несгоревших углеводородов в i -м режиме 13-режимного испытательного цикла ECE R49, г/ч; N_{ei} — мощность двигателя на i -м режиме, кВт; K_i — коэффициент, отражающий долю времени i -го режима в 13-режимном цикле (выражен в абсолютных единицах).

Результаты расчета экологических показателей дизеля Д-245 приведены в табл. 7.

Приведенные в табл. 7 данные показывают преимущества использования указанного СМТ перед НДТ. Перевод дизеля с НДТ на СМТ приводит к изменению интегральных удельных массовых выбросов за цикл испытаний оксидов азота e_{NO_x} в 0,81 раз, монооксида углерода e_{CO} в 0,89 раз, несгоревших углеводородов e_{CH_x} в 0,91 раз, т. е. выбросы всех газообразных токсичных компонентов снижаются.

Результаты расчетно-экспериментальных исследований подтверждают возможность улучшения экологических показателей дизеля Д-245 при его переводе с НДТ на СМТ, состоящем из 80 % НДТ и 20 % СМ. Так, в режимах максимальной мощности и максимального крутящего момента при подаче в КС дизеля указанного СМТ дымность ОГ уменьшилась на 37...50 % по сравнению с таковой для НДТ.

При работе дизеля на СМТ, содержащем 80 % НДТ и 20 % СМ, отмечено снижение интегральных удельных массовых выбросов всех трех газообразных нормируемых токсичных компонентов в ОГ, г/(кВт·ч): e_{NO_x} — с 7,02 до 5,68 (на 19,1 %); e_{CO} — с 1,72 до 1,54 (на 10,9 %); e_{CH_x} — с 0,79 до 0,72 (на 8,9 %).

Указанное улучшение экологических показателей при использовании СМТ, содержащем 80 % НДТ и 20 % СМ, получено без изменения конструкционных и регулировочных параметров дизеля Д-245. Для достижения еще большего снижения выбросов токсичных компонентов в ОГ и улучшения показателей топливной экономичности дизеля при его адаптации к работе на биотопливах возможно совершенствование конструкции и дополнительных регулировок двигателя.

В частности, целесообразно совершенствование проточной части распылителей форсунок для уменьшения длины струй топлива и их согласование с формой КС, а также уточнение регулировочных параметров дизеля (в первую очередь уточнение значений угла опережения впрыска и организация его регулирования при изменении свойств применяемого топлива).

Следует отметить, что для СМТ можно использовать СМ, полученное как побочный продукт производства белковых кормов для крупного рогатого скота. Для указанного применения СМ подходят РаствМ из маслосемян, выращенных в неблагоприятных экологических условиях (земли рядом с автомобильными трассами, нефтехранилищами, экологически вредными производствами и др.).

Сырьем для получения моторных топлив также могут служить низкокачественные и просроченные РаствМ, фритюрные масла — отходы пищевой промышленности и объектов общественного питания.

Выводы

1. Подтверждена возможность использования СМ как экологической добавки в НДТ. Рассмотрены особенности производства СМ и его свойства. Проведены расчетные исследования процессов распыливания топлива и смесеобразования в дизеле при его работе на смесях НДТ и РаствМ. Проведены экспериментальные исследования дизеля, работающего на НДТ и указанном СМТ.

2. Урожайность сортов сои северного экотипа в условиях высоких широт (56° северной широты) Нечерноземной зоны России в среднем за годы исследований составила 1,94...2,62 т/га. Максимальная урожайность отмечалась в годы с оптимальной влагообеспеченностью: у сорта Окская — 2,95 т/га, у сорта Магва — 2,74 т/га, у сорта Светлая — 3,12 т/га. В годы с недостаточной влагообеспеченностью урожайность всех сортов существенно снизилась (в среднем по сортам в 1,99 раза). Белковая продуктивность, в среднем по опыту составившая 967 кг/га, была максимальной в условиях оптимальной влагообеспеченности (1178 кг/га) и существенно (в 1,97 раза) снижалась при дефиците влаги. При этом самый высокий сбор белка наблюдался у сорта Светлая (1048 кг/га).

3. Содержание масла в семенах изучаемых сортов в среднем по опыту составило 19...21 %, причем в его составе преобладали ненасыщенные жирные кислоты (69,71 %). Содержание в масле наиболее ценных для биодизеля олеиновой и линолевой жирных кислот достигало 60 % и не уступало сортам южного происхождения. Масличная продуктивность сортов в среднем по опыту составила 482 кг/га, она была существенно (в 1,90 раз) меньше в засушливые годы и незначительно (в 1,04 раза) в годы с избыточным увлажнением. Максимальная масличная продуктивность, наблюдавшаяся у сорта Светлая в условиях оптимальной влагообеспеченности, составила 630 кг/га при самом высоком выходе олеиновой и линолевой жирных кислот (373 кг/га).

4. Анализ результатов расчетных исследований процесса подачи и распыливания топлива

свидетельствует о том, что при переводе дизеля с НДТ на СМТ, содержащее 80 % НДТ и 20 % РМ, показатели распыливания топлива изменились незначительно: длина струи на момент окончания впрыска возросла с 41,9 до 43,4 мм (на 3,6 %), угол раскрытия внешнего контура струи на момент окончания впрыска уменьшился от 20,8 до 19,6° (на 5,8 %), средний диаметр капель по Заутеру возрос с 24,3 до 28,0 мкм (на 15,2 %). Это указывает на возможность перевода исследуемого дизеля с НДТ на указанное СМТ.

5. Использование СМТ в дизелях трактора или комбайна не вызывало изменений произ-

водительности машины, так как их мощностные показатели практически не изменялись по сравнению с таковыми для НДТ. Перевод сельскохозяйственной техники на СМТ, содержащее 80 % НДТ и 20 % СМ, не требует дополнительного регулирования машины и ее дизеля.

6. Применение СМТ вместо НДТ на режимах ВСХ позволило уменьшить дымность ОГ на 37...50 % и снизить интегральные удельные выбросы токсичных компонентов в ОГ за цикл испытаний: оксидов азота — на 19,1 %, монооксида углерода — на 10,5 %, углеводородов — на 8,9 %.

Литература

- [1] Лютко В., Луканин В.Н., Хачиян А.С. *Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания*. Москва, Изд-во МАДИ, 2000. 311 с.
- [2] Гусаков С.В. *Перспективы применения в дизелях альтернативных топлив из возобновляемых источников*. Москва, РУДН, 2008. 288 с.
- [3] Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И. *Токсичность отработавших газов дизелей*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 376 с.
- [4] Ерохов В.И. Экологические показатели современных наземных транспортных средств. *Грузовик*, 2020, № 9, с. 16–27.
- [5] Марков В.А., ред. *Моторные топлива, производимые из растительных масел*. Рига, Lambert Academic Publ., 2019. 420 с.
- [6] Васильев И.П. *Влияние топлив растительного происхождения на экологические и экономические показатели дизеля*. Луганск, Изд-во ВГУ им. В. Даля, 2009. 240 с.
- [7] Азаров В.К., Кутенев В.Ф., Теренченко А.С. и др. Биотоплива и другие энергоносители для колесных транспортных средств. *Транспорт на альтернативном топливе*, 2012, № 3, с. 72–74.
- [8] Звонов В.А., Козлов А.В., Теренченко А.С. Исследование эффективности применения в дизельных двигателях топливных смесей и биотоплив. *Российский химический журнал*, 2008, т. 52, № 6, с. 147–151.
- [9] Александров А.А., Иващенко Н.А., ред. *Машиностроение. Энциклопедия. Т. IV. Двигатели внутреннего сгорания*. Москва, Машиностроение, 2013. 784 с.
- [10] Савельев Г.С., Кочетков М.Н. Расчет параметров топливной системы тракторного дизеля при его адаптации к работе на рапсовом масле. *Транспорт на альтернативном топливе*, 2009, № 4, с. 60–67.
- [11] Патрахальцев Н.Н., Савастенко А.А. *Применение в дизелях нетрадиционных топлив, как добавок к основному*. Москва, Легион-Автодата, 2014. 162 с.
- [12] Che Mat S., Idroas M.Y., Hamid M.F. et al. Performance and emissions of straight vegetable oils and its blends as a fuel in diesel engine: a review. *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 2018, vol. 82-1, pp. 808–823, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.080>
- [13] Markov V., Kamaltdinov V., Devyanin S.N. et al. Investigation of the influence of different vegetable oils as a component of blended biofuel on performance and emission characteristics of a diesel engine for agricultural machinery and commercial vehicles. *Resources*, 2021, vol. 10, no. 8, art. 74, doi: <https://doi.org/10.3390/resources10080074>
- [14] Делаев У.А., Кобозева Т.П., Синеговская В.Т. *Возделывание скороспелых сортов сои*. Москва, МГАУ им. В.П. Горячкина, 2012. 216 с.
- [15] Синеговская В.Т., Наумченко Е.Т., Кобозева Т.П. *Методы исследований в полевых опытах с соей*. Благовещенск, ВНИИ сои, 2016. 116 с.
- [16] Кобозева Т.П., Делаев У.А., Шевченко В.А. и др. *Возделывание сортов сои северного экотипа в Нечерноземной зоне Российской Федерации*. Москва, ВНИИ ГиМ имени А.Н. Костякова, 2015. 48 с.

- [17] Марков В.А., Девянин С.Н., Зыков С.А. и др. *Биотоплива для двигателей внутреннего сгорания*. Москва, НИЦ Инженер, 2016. 292 с.
- [18] Кулиев Р.Ш., Ширинов Ф.Р., Кулиев Ф.А. Физико-химические свойства некоторых растительных масел. *Химия и технология топлив и масел*, 1999, № 4, с. 36–37.
- [19] Малашенков К.А. Альтернативный рапс. *Сельский механизатор*, 2007, № 1, с. 26–27.
- [20] Горбачев М. Альтернативные источники энергии для АПК. *Сельский механизатор*, 2007, № 4, с. 5–6.
- [21] Goering C.E. Fuel properties of eleven oil fuels. *SAE Tech. Pap.*, 1981, no. 813579.
- [22] Wagner L.E., Clark S.J., Schrock M.D. Effects of soybean oil esters on the performance, lubricating oil and water of diesel engine. *SAE Tech. Pap.*, 1984, no. 841385, pp. 57–72, doi: <https://doi.org/10.4271/841385>
- [23] Clark S.J., Wagner L., Schrock M.D. et al. Methyl and ethyl soybean esters as renewable fuels for diesel engines. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 1984, vol. 61, no. 10, pp. 1632–1638, doi: <https://doi.org/10.1007/BF02541648>
- [24] Марков В.А., Девянин С.Н., Неверов В.А. Использование в дизелях смесевых биотоплив с добавками соевого масла. *Транспорт на альтернативном топливе*, 2014, № 6, с. 40–50.
- [25] Марков В.А., Кулешов А.С., Неверов В.А. и др. Совершенствование процессов распыливания топлива и смесеобразования при работе дизеля на смесевых биотопливах. *Двигателестроение*, 2021, № 1, с. 3–12.

References

- [1] L'otko V., Lukanin V.N., Khachiyani A.S. *Primenenie al'ternativnykh topliv v dvigatelyakh vnutrennego sgoraniya* [Application of alternative fuels in combustion engines]. Moscow, Izd-vo MADI Publ., 2000. 311 p. (In Russ.).
- [2] Gusakov S.B. *Perspektivy primeneniya v dizelyakh al'ternativnykh topliv iz vozobnovlyaemykh istochnikov* [Prospects of using alternative fuels from renewable sources in diesels]. Moscow, RUDN Publ., 2008. 288 p. (In Russ.).
- [3] Markov V.A., Bashirov R.M., Gabitov I.I. *Toksichnost' otrabotavshikh gazov dizeley* [Toxicity of exhaust gases of diesel engines]. Moscow, Bauman MSTU Publ., 2002. 376 p. (In Russ.).
- [4] Erokhov V.I. Environmental indicators of modern land vehicles. *Gruzovik*, 2020, no. 9, pp. 16–27. (In Russ.).
- [5] Markov V.A., ed. *Motornye topliva, proizvodimye iz rastitel'nykh masel* [Motor fuels from vegetable oils]. Riga, Lambert Academic Publ., 2019. 420 p. (In Russ.).
- [6] Vasil'yev I.P. *Vliyanie topliv rastitel'nogo proiskhozhdeniya na ekologicheskie i ekonomicheskie pokazateli dizelya* [Effect of plant fuels on environmental and economic specifications of a diesel]. Lugansk, Izd-vo VNU im. V. Dalya Publ., 2009. 240 p. (In Russ.).
- [7] Azarov V.K., Kutenev V.F., Terenchenko A.S., et al. Biofuels and other energy carriers for wheeled vehicles. *Транспорт на альтернативном топливе*, 2012, no. 3, pp. 72–74. (In Russ.).
- [8] Zvonov V.A., Kozlov A.V., Terenchenko A.S. Study on application efficiency of fuel mixtures and biofuels in a diesel. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal*, 2008, vol. 52, no. 6, pp. 147–151. (In Russ.).
- [9] Aleksandrov A.A., Ivashchenko N.A., eds. *Mashinostroenie. Entsiklopediya. T. IV. Dvigateli vnutrennego sgoraniya* [Machine building. Encyclopedia. Vol. 4. Combustion engines]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2013. 784 p. (In Russ.).
- [10] Savel'yev G.S., Kochetkov M.N. Parameters calculation of a fuel system for a tractor diesel while adapting to work on rape oil. *Транспорт на альтернативном топливе*, 2009, no. 4, pp. 60–67. (In Russ.).
- [11] Patrakhal'tsev N.N., Savastenko A.A. *Primenenie v dizelyakh netraditsionnykh topliv, kak dobavok k osnovnomu* [Application of unique fuels in diesel as an addition to the main fuel]. Moscow, Legion-Avtodata Publ., 2014. 162 p. (In Russ.).
- [12] Che Mat S., Idroas M.Y., Hamid M.F., et al. Performance and emissions of straight vegetable oils and its blends as a fuel in diesel engine: a review. *Renew. Sust. Energ. Rev.*, 2018, vol. 82-1, pp. 808–823, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.080> (in Russ.).
- [13] Markov V., Kamaltdinov V., Devyanin S.N., et al. Investigation of the influence of different vegetable oils as a component of blended biofuel on performance and emission characteris-

- tics of a diesel engine for agricultural machinery and commercial vehicles. *Resources*, 2021, vol. 10, no. 8, art. 74, doi: <https://doi.org/10.3390/resources10080074>
- [14] Delaev U.A., Kobozeva T.P., Sinegovskaya V.T. *Vozdelyvanie skorospelykh sortov soi* [Farming of short-season soy cultivar]. Moscow, MGAU im. V.P. Goryachkina Publ., 2012. 216 p. (In Russ.).
- [15] Sinegovskaya V.T., Naumchenko E.T., Kobozeva T.P. *Metody issledovaniy v polevykh opytakh s soey* [Study methods in field experiments with soy]. Blagoveshchensk, VNII soi Publ., 2016. 116 p. (In Russ.).
- [16] Kobozeva T.P., Delaev U.A., Shevchenko V.A., et al. *Vozdelyvanie sortov soi severnogo ekotipa v Nechernozemnoy zone Rossiyskoy Federatsii* [Farming of soy cultivars of the north ecotype in nonchernozem belt of the Russian Federation]. Moscow, VNII GiM imeni A.N. Kostyakova Publ., 2015. 48 p. (In Russ.).
- [17] Markov V.A., Devyanin S.N., Zikov S.A., et al. *Biotopliva dlya dvigateley vnutrennego sgoraniya* [Biofuels for combustion engines]. Moscow, NITs Inzhener Publ., 2016. 292 p. (In Russ.).
- [18] Kuliev R.Sh., Shirinov F.R., Kuliev F.A. Physicochemical properties of some vegetable oils. *Khimiya i tekhnologiya topliv i masel*, 1999, no. 4, pp. 36–37. (In Russ.).
- [19] Malashenkov K.A. Alternative rape. *Sel'skiy mekhanizator*, 2007, no. 1, pp. 26–27. (In Russ.).
- [20] Gorbachev M. Alternative energy sources for agricultural enterprises. *Sel'skiy mekhanizator*, 2007, no. 4, pp. 5–6. (In Russ.).
- [21] Goering S.E. Fuel properties of eleven oil fuels. *SAE Tech. Pap.*, 1981, no. 813579.
- [22] Wagner L.E., Clark S.J., Schrock M.D. Effects of soybean oil esters on the performance, lubricating oil and water of diesel engine. *SAE Tech. Pap.*, 1984, no. 841385, pp. 57–72, doi: <https://doi.org/10.4271/841385>
- [23] Clark S.J., Wagner L., Schrock M.D., et al. Methyl and ethyl soybean esters as renewable fuels for diesel engines. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 1984, vol. 61, no. 10, pp. 1632–1638, doi: <https://doi.org/10.1007/BF02541648>
- [24] Markov V.A., Devyanin S.N., Neverov V.A. Using mixed biofuels with soybean oil additions in diesel engines. *Transport na al'ternativnom toplive*, 2014, no. 6, pp. 40–50. (In Russ.).
- [25] Markov V.A., Kuleshov A.S., Neverov V.A., et al. Improvement of fuel atomization and mixing processes in engines firing mixed biofuels. *Dvigatelistroenie*, 2021, no. 1, pp. 3–12. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 22.11.2021

Информация об авторах

ДЕВЯНИН Сергей Николаевич — доктор технических наук, профессор кафедры «Тракторы и автомобили». Российский государственный агроинженерный университет Московской сельскохозяйственной академии им. К.А. Тимирязева (127550, Москва, Российская Федерация, Тимирязевская ул., д. 58, e-mail: devta@rambler.ru).

МАРКОВ Владимир Анатольевич — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Комбинированные двигатели и альтернативные энергоустановки». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, к. 1, e-mail: vladimir.markov58@yandex.ru).

ЛЕВШИН Александр Григорьевич — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Эксплуатация машинно-тракторного парка и высоких технологий в растениеводстве» Российского государственного агроинженерного университета Московской сельскохозяйственной академии им. К.А. Тимирязева (127550, Москва, Российская Федерация, Тимирязевская ул., д. 58, e-mail: alev200151@rambler.ru).

КОБОЗЕВА Тамара Петровна — доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка и высоких технологий в растениеводстве» Российского государственного агроинженерного университета Московской сельскохозяйственной академии им. К.А. Тимирязева (127550, Москва, Российская Федерация, Тимирязевская ул., д. 58, e-mail: mgau0130@gmail.com).

НЕВЕРОВ Всеволод Анатольевич — аспирант кафедры «Комбинированные двигатели и альтернативные энергоустановки». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, к. 1, e-mail: sevasxp@mail.ru).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Девянин С.Н., Марков В.А., Левшин А.Г., Кобозева Т.П., Неверов В.А. Исследование возможностей использования соевого масла как экологической добавки в нефтяное дизельное топливо. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*, 2022, № 1, с. 39–52, doi: 10.18698/0536-1044-2022-1-39-52

Please cite this article in English as:

Devyanin S.N., Markov V.A., Levshin A.G., Kobozeva T.P., Neverov V.A. Investigation of the Possibilities of Using Soybean Oil as an Ecological Additive to Petroleum Diesel Fuel. *BMSTU Journal of Mechanical Engineering*, 2022, no. 1, pp. 39–52, doi: 10.18698/0536-1044-2022-1-39-52

Information about the authors

DEVYANIN Sergey Nikolayevich — Doctor of Science (Eng.), Professor, Head of the Department of Tractors and Cars. Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127550, Moscow, Russian Federation, Timiryazevskaya Str., Bldg. 58, e-mail: devta@rambler.ru).

MARKOV Vladimir Anatolyevich — Doctor of Science (Eng.), Professor, Head of the Department of Combined Engines and Alternative Power Plants. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya Str., Bldg. 5, Block 1, e-mail: vladimir.markov58@yandex.ru).

LEVSHIN Aleksandr Grigoryevich — Doctor of Science (Eng.), Professor, Head of the Department of Operation of the Machine and Tractor Fleet and High Technologies in Crop Production. Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127550, Moscow, Russian Federation, Timiryazevskaya Str., Bldg. 58, e-mail: alev200151@rambler.ru).

KOBOZEVA Tamara Petrovna — Doctor of Science (Agr.), Professor, Department of Operation of the Machine and Tractor Fleet and High Technologies in Crop Production. Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy (127550, Moscow, Russian Federation, Timiryazevskaya Str., Bldg. 58, e-mail: mgau0130@gmail.com).

NEVEROV Vsevolod Anatolyevich — Postgraduate, Department of Combined Engines and Alternative Power Plants. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya Str., Bldg. 5, Block 1, e-mail: sevasxp@mail.ru).