

# ПРОЦЕССЫ И МАШИНЫ АГРОИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ



УДК 544.332.3:631.372:662.75  
DOI: 10.53083/1996-4277-2024-234-4-77-85

Д.А. Кривенко, А.В. Ишков, В.Ф. Аулов  
D.A. Krivenko, A.V. Ishkov, V.F. Aulov

## СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ В АТМОСФЕРНОМ И ТУРБИРОВАННОМ ДИЗЕЛЕ ТИПА 4СН 11/12,5 НА РЕЖИМЕ МАКСИМАЛЬНОГО КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БИОДИТОВ ИЗ ОКСИПРОИЗВОДНЫХ ПОДСОЛНЕЧНОГО МАСЛА

### COMPARATIVE STUDY OF WORKING PROCESSES IN ATMOSPHERIC AND TURBOCHARGED DIESEL ENGINE OF 4CH 11/12.5 TYPE AT THE MAXIMUM TORQUE MODE WHEN USING BIODITES FROM OXY DERIVATIVES OF SUNFLOWER OIL

**Ключевые слова:** дизельный ДВС, биодит, оксипроизводные подсолнечного масла, химмотология, компьютерное моделирование, эффективная мощность, эффективный крутящий момент, расход топлива.

Одним из перспективных вариантов биотоплива, особенно для мобильных машин в сельском хозяйстве, являются биодиты – смеси растительных масел с минеральным дизельным топливом различного состава. Дизельные ДВС типа 4СН 11/12,5 в их атмосферном варианте (Д-243.1) и варианте с турбо-наддувом (Д-245.1) имеют широкую применяемость на мобильных машинах, используемых в сельском хозяйстве России. Они установлены на всех колесных тракторах тягового класса 1,4, производства АО МТЗ, а их модификация Д-245.12С2 уже много лет успешно используется для замены бензиновых ДВС в грузовых автомобилях марки ГАЗ, ЗИЛ, автобусах ПАЗ. Ранее авторы уже предлагали использовать в составе биодитов вместо чистого

подсолнечного масла его оксипроизводные – дериваты, полученные окислением непредельных связей в реакции Вагнера. Провели теоретические исследования и показали, что у ДВС на этом топливе увеличиваются эффективная мощность и крутящий момент при работе на режиме максимальной мощности, однако уменьшается экономичность. Исследована работа атмосферного Д-243 и турбированного дизеля Д-245 на предлагаемых альтернативных биотопливах на режиме максимального крутящего момента. Показано, что при использовании для моделирования рабочего процесса верифицированных компьютерных моделей Д-243.1 и Д-245.2 по показателям ( $M_e$ ,  $b_e$ ) на исследованном режиме МКМ ошибка не превысила 7,0%. При использовании оксипроизводных подсолнечного масла в составе биодитов с минеральным топливом, на режиме МКМ, наблюдается увеличение параметров  $M_e$ ,  $N_e$  до 4,0-13,2%, однако при этом увеличивается и расход альтернативного биотоплива  $b_e$  до 13,2-27,1%.

**Keywords:** *diesel internal combustion engine, biodite, oxy derivatives of sunflower oil, chemotology, computer modeling, effective power, effective torque, fuel consumption.*

One of the promising options of biofuel especially for mobile machinery in agriculture are biodites - mixtures of vegetable oils with mineral diesel fuel of different composition. Diesel engines of 4Ch 11/12.5 type in their atmospheric version (D-243.1) and turbocharged version (D-245.1) are widely used in mobile machines used in agriculture in Russia. They are installed on all wheeled tractors of traction class 1.4 produced by the OOO MTZ, and their modification D-245.12C2 has been successfully used for many years to replace gasoline engines in GAZ and ZIL trucks, and PAZ buses. Previously, the authors have already proposed to use in the composition of biodites in-

stead of pure sunflower oil its oxy derivatives - derivatives obtained by oxidation of unsaturated bonds in the Wagner reaction, conducted theoretical studies and showed that the internal combustion engine with this fuel increases the effective power and torque when operating at maximum power, but reduces the economy. This study deals with the operation of atmospheric D-243 and turbocharged diesel engine D-245 with the proposed alternative biofuels on the maximum torque mode. It is shown that when using verified computer models D-243.1 and D-245.2 for modeling of the working process by indices ( $M_e$ ,  $b_e$ ) in the investigated mode of maximum torque, the error did not exceed 7.0%. When using oxy derivatives of sunflower oil in the composition of bidets with mineral fuel, in maximum torque mode, the parameters  $M_e$ ,  $N_e$  increase up to 4.0...13.2%, however at the same time, the consumption of alternative biofuel  $b_e$  increases up to 13.2...27.1%.

**Кривенко Джанна Александровна**, аспирант, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: djannapa@mail.ru.

**Ишков Алексей Владимирович**, к.х.н., д.т.н., профессор кафедры, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: alekeyyishk@rambler.ru.

**Аулов Вячеслав Федорович**, к.т.н., вед. науч. сотр., ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Российская Федерация, e-mail: gosniti@mail.ru.

**Krivenko Dzhanna Aleksandrovna**, post-graduate student, Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: djannapa@mail.ru.

**Ishkov Aleksey Vladimirovich**, Cand. Chem. Sci., Dr. Tech. Sci., Prof., Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: alekeyyishk@rambler.ru.

**Aulov Vyacheslav Fedorovich**, Cand. Tech. Sci., Leading Researcher, Federal Scientific Agro-Engineering Center VIM, Moscow, Russian Federation, e-mail: gosniti@mail.ru.

## Введение

В настоящее время использование биотоплив в виде индивидуальных (чистых) соединений в ДВС ограничено (за исключением, пожалуй, только биоэтанола в США и Бразилии, и во *Flex-Fuel* бензиновых двигателях) [1, 2]. Это объясняется рядом объективных причин: рабочим процессом в цилиндре, конструкцией двигателя и системы его питания, скоростной и нагрузочной характеристиками ДВС, тяговыми характеристиками машины, эксплуатационными параметрами и пр.) [3, 4]. Это справедливо и по отношению к биодизелю [5]. Поэтому современное коммерческое биотопливо – это, чаще всего, смесь традиционного минерального топлива – бензина или дизельного топлива (ДТ), которое часто называют биодизель, с компонентами, полученными из возобновляемого, в основном растительного, сырья (этиловый спирт, метиловый эфир рапсового масла (МЭРМ) и т.п.) [6]. В то же время постоянно возрастающие экологические нормы к ДВС по содержанию токсичных компонентов в их отработанных газах [7], а также добавившиеся к ним в последние годы мероприятия по уменьшению так называемого «углеродного следа» вынуждают производителей и эксплуатантов ТС постоянно увеличи-

вать содержание биоконпонентов в топливных смесях.

Известно, что при проектировании нового, или модификации серийного ДВС, его будущие эксплуатационные параметры диктуются указанными выше объективными причинами, но также и тем топливом, на котором будет эксплуатироваться мотор (последнее обстоятельство хорошо известно всем автомобилистам) [8]. Для наиболее эффективного использования биотоплива должен быть сконструирован по сути специальный, биотопливный (многотопливный) двигатель или хотя бы переоборудован штатный мотор [3, 8]. Если в бензиновом ДВС с искровым зажиганием основным параметром топлива является его октановое число, которое в основном зависит от степени сжатия топливо-воздушной смеси, что, в свою очередь, определяется диаметром, ходом поршня и параметрами КШМ, то дизельный ДВС имеет меньшую чувствительность к аналогичному параметру топлива – цетановому числу, которое может изменяться в широком интервале 44-55 [10]. Можно сказать, что дизель потенциально более приспособлен к использованию различных альтернативных топлив. Тем не менее применение чистых биотоплив даже в этих ДВС ограничено. Перспектив-

ным же направлением, особенно при использовании мобильных машин с дизелем в сельском хозяйстве, также является применение смесей чистых растительных масел (РМ) с ДТ – смесевых минерально-растительных биотоплив, так называемых биодитов [11]. Однако несоответствие основных химмотологических показателей РМ штатному топливу также ограничивает долю в них растительных компонентов величиной 20-25% [12].

Для расширения концентрационных границ состава биодита на основе подсолнечного масла (ПМ) и ДТ ранее нами предложено химически модифицировать ПМ путем его мягкого окисления в известной реакции *Вагнера* [13], с получением соответствующих оксипроизводных (ПМ\*). Также было показано, что по ряду эффективных показателей такое альтернативное биотопливо превосходит как чистое ПМ, так и штатное минеральное ДТ, при работе дизельного ДВС на режиме максимальной мощности (режим ММ) [14].

**Целью** работы являлось моделирование и исследование основных показателей рабочих процессов дизеля типа 4Ч 11/12,5 при его работе на биодитах из оксипроизводных подсолнечного масла различного состава в атмосферном и турбированном вариантах ДВС на режиме максимального крутящего момента.

### Экспериментальная часть

В работе использовали теоретический (расчетный) метод исследования и метод компью-

терного моделирования с верификацией модели.

В качестве основных показателей рабочего процесса ДВС, как и ранее, были выбраны параметры [9]:  $N_e$  – эффективная мощность, кВт;  $M_e$  – эффективный крутящий момент, Н·м;  $b_e$  – удельный эффективный расход топлива, кг/(кВт·ч);  $\eta_{тепл}$ ,  $\eta_{мех}$  – эффективный (индикаторный) и механический КПД, %;  $p_{max}$  – максимальное давление цикла, бар; и  $T_{max}$  – максимальная температура цикла, К.

В качестве объектов исследований выступили разработанные ранее и скорректированные компьютерные модели дизеля типа 4Ч 11/12,5, реализованные в виде соответствующих РК-моделей, как отдельные проекты \*.drk в среде специализированной САД-системы «Дизель-РК» v 4.3.0.189 [15]. В качестве атмосферного дизеля типа 4Ч 11/12,5 была исследована базовая модель ММЗ Д-243.1, а в качестве турбированного варианта – модель ММЗ Д-245.2 (с интеркулером). Параметры моделей для расчета рабочих процессов были определены по их нормированным заводским параметрам [16], а также по внешним скоростным характеристикам (ВСХ), взятым из Internet-ресурсов [17, 18] (рис. 1, табл. 1). Режим максимального крутящего момента (режим МКМ) этих ДВС реализуется при частоте вращения коленчатого вала (КВ) в 1600 мин<sup>-1</sup> (Д-243) и 1400 мин<sup>-1</sup> (Д-245) соответственно.

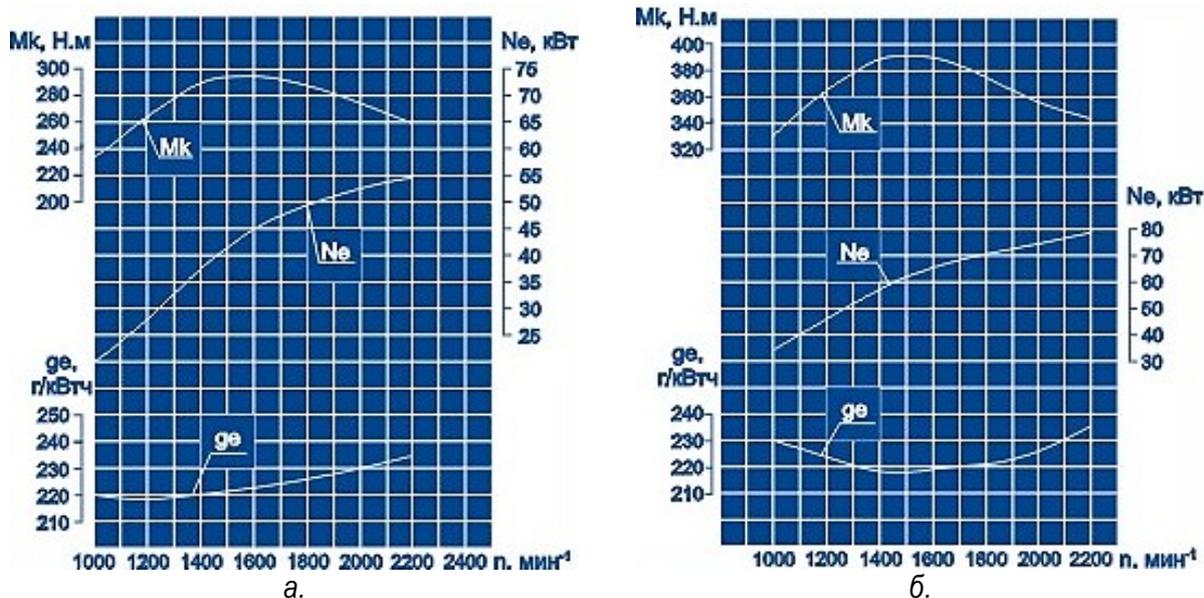


Рис. 1. Внешняя скоростная характеристика дизелей типа 4Ч 11/12,5: а – Д-243.1 (атмосферный); б – Д-245.2 (турбированный)

В качестве топлив, как и в нашей предыдущей работе [14], использовали: чистое нефтяное ДТ марки Евро по ГОСТ Р 52368 [10], но с откорректированным ЦЧ = 48; модельное ПМ с жирнокислотным составом по [19]; его оксипроизводные (ПМ\*), представляющие собой смесь гекса- и ундекаоксипроизводных модельного ПМ; базовые смеси ПМ или ПМ\* с ДТ с различным соотношением массовой доли компонентов: 25:75; 50:50 и 75:25 соответственно. Каждый из вариантов исследованного топлива был внесен в базу топлив клиентской части программы и задавался в отдельном режиме соответствующей РК-модели ДВС при расчете, 9 вариантов топлива и 9 режимов расчета.

### Результаты и их обсуждение

Режим МКМ для дизельного ДВС является одним из основных при эксплуатации двигателя в составе энергетических установок и мобильной колесной техники. Для тракторов и МТА он может составлять до 75-80% всего времени наработки [20].

В отличие от исследованного нами ранее режима ММ (максимальных оборотов), режим МКМ характеризует не предельные энергетические возможности двигателя и полноту использования (преобразования) им химической энергии топлива в кинетическую энергию и механическую работу, а связан с его способностью работать под внешней нагрузкой, выдавая при этом необходимое для осуществления этой работы количество энергии (мощности), поэтому этот режим указан как основной, например, при испытании отечественных двигателей (наряду со снятием их ВСХ) [8, 9].

Еще большее значение этот режим приобретает при нормировании экологических характеристик ДВС. Так, в широко применяемом сейчас при сертификации двигателей на соответствие нормам (от Евро-3 до Евро-5) по выбросам вредных веществ ( $C$ ,  $CO$ ,  $C_xH_y$ ,  $NO_x$ ) цикле ESC – 13-режимных испытаний по нормам ЕЭС (рис. 2) доля времени испытаний, когда мотор развивает максимальные значения своего  $M_e$ , может достигать 40-50% от времени всего теста [21].

Дизельные ДВС типа 4Ч 11/12,5 в их атмосферном варианте (Д-240, Д-243, Д-243.1) и вариантах с наддувом (Д-245, Д-245.1, Д-245.2 и др. модификации) установлены на основных универсально-пропашных колесных тракторах тягового класса 1,4, производства ОАО «МТЗ» (г. Минск, Республика Беларусь). Их модификация Д-245.12С2 также используется для замены штатного бензинового ДВС в современных моделях грузовых автомобилей марок: ГАЗ-3307, 3308, 3309; ЗИЛ-5301; МАЗ-4370, 4371, а также на автобусах средней вместимости ПА3-3205 [16-18].

Будучи унифицированными по топливу – ДТ, указанная техника находит широкое применение на предприятиях АПК, в транспортных, строительных и коммунальных компаниях, в пассажирских автопредприятиях страны. Но эти моторы в атмосферном варианте, к сожалению, соответствуют только экологическому классу Евро-0, а учитывая их большой рабочий объем 4,75-4,85 л и длительный напряженный характер их эксплуатации в АПК, доля выбросов вредных токсикантов в отработанных газах от них может быть значительной.

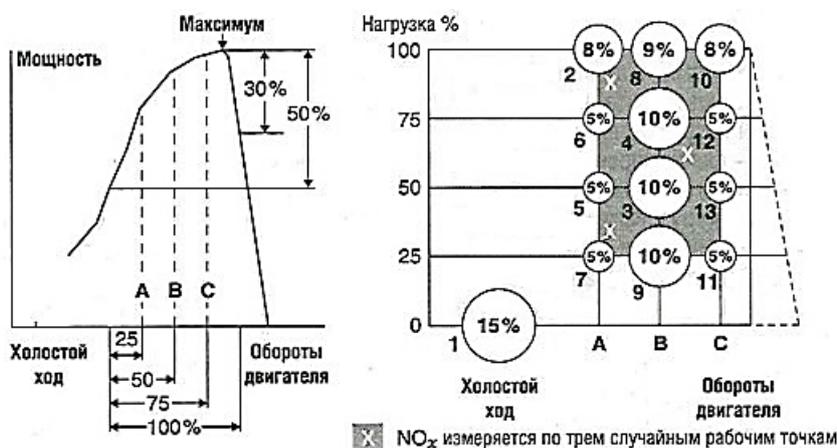


Рис. 2. 13-режимные испытания по нормам ЕЭС с европейским циклом на установившихся режимах (ESC)

Решением этой проблемы может стать использование в дизелях предложенного нами ранее нового альтернативного биотоплива – оксипроизводных ПМ\*, а также их смесей с коммерческим минеральным ДТ – соответствующих биодитов [11, 12]. Вопрос их энергетической эффективности в ДВС требует дополнительных исследований [22, 23]. Ранее на режиме ММ ( $n = 2200$  мин.<sup>-1</sup>) это топливо уже показало определенные преимущества перед минеральным ДТ как для атмосферного, так и для турбированного варианта дизеля 4С 11/12,5 [14]. Однако более интересным при использовании ДВС в составе энергетической установки мобильных машин и МТА является режим МКМ. Параметры исследованных ДВС, использованные для задания в их РК-моделях при реализации в них режима МКМ, приведены в таблице 1.

Здесь, как и ранее, нормированные параметры эффективного крутящего момента ( $M_e$ ) и эффективного удельного расхода топлива ( $b_e$ ) приведены в таблице специально для верификации разработанных моделей с реальными моторами. Учет состава и химмотологических показателей альтернативного биотоплива произведен нами, как и ранее, по брутто-формулам [14, 19].

Результаты модельных расчетов основных (эффективных) показателей двигателей ММЗ Д-243.1 и Д-245.2 при работе на режиме МКМ для различных исследованных топливах представлены в таблице 2.

Из данных, приведенных на рисунке 1 и в таблице 2, следует, что при верификации РК-моделей по показателям мощности, крутящего

момента и удельного расхода топлива ( $M_e$ ,  $N_e$ ,  $b_e$ ) при работе ДВС на выбранном режиме при использовании штатного минерального ДТ, ошибка между рассчитанными и ближайшими нормированными данными [16-18] для ДТ составила: по  $N_e$  – -5,3% (для атмосферного дизеля) и +7,0% (для турбированного дизеля), а по  $b_e$  ошибка составила -0,4 и -3,2% соответственно, что говорит об их высокой адекватности и возможности использования для цели исследования, особенно по показателю экономичности. К сожалению, сам показатель  $M_e$ , определяющий искомый режим у исследованных дизелей и их РК-моделей, отличается от нормированных значений на величину от -14,7% (для атмосферного дизеля) до +9,8% (для турбированного дизеля) при использованных в расчетах параметров ДТ. Это может говорить как о необходимости корректировки (настройки) РК-модели с помощью параметров подачи топлива или опережения угла впрыска (ввиду несоответствия реального рабочего процесса и его описания в модели), так и необходимости уточнения (подбора) химмотологических показателей самого ДТ, на котором снимались ВСК, приведенные на рисунке 1 [17, 18]. Указанные выше обстоятельства необходимо будет учитывать в дальнейшем, как при получении нами ВСХ по рабочему процессу в РК-моделях, так и при расчете по ним экологических показателей исследуемых ДВС – дымности, эмиссии сажи, эмиссии СО и NO<sub>x</sub>, при их работе на предлагаемом альтернативном биотопливе.

Таблица 1

**Параметры исследованных дизелей типа 4С 11/12,5 на режиме максимального крутящего момента**

Параметр	Марка двигателя	
	ММЗ Д-243.1	ММЗ Д-245.2
Диаметр цилиндра, мм	100	
Ход поршня, мм	125	
Количество клапанов на камеру сгорания	2	
Частота оборотов, соответствующая максимальному крутящему моменту, мин. <sup>-1</sup>	1600	1400
Мощность при максимальном крутящем моменте, кВт (л.с.)	45 (61)	58 (79)
Максимальный крутящий момент, Н*м	298	385
Удельный расход топлива при максимальном крутящем моменте, г/кВт*ч	226	218
Коэффициент избытка воздуха	1,5-1,75	2,0-2,2
Охлаждение	водяное	
Степень сжатия	16	15,1
Турбокомпрессор (тип)	Отсутствует	ТКР-6
Степень повышения давления	-	1,5-2,1
Интеркулер	Отсутствует	+

**Расчетные показатели рабочего процесса двигателей ММЗ  
на режиме максимального крутящего момента**

Топливо (смесь)	Показатели*, модель двигателя						
	$N_e$	$M_e$	$b_e$	$\eta_{тепл}$	$\eta_{мех}$	$p_{max}$	$T_{max}$
Д-243.1 ( $n = 1600$ мин. <sup>-1</sup> )							
Индивидуальные топлива							
1	42,6	254,2	0,2251	45,09	84,01	44,05	1052
2	44,7	266,8	0,2548	46,03	84,86	44,02	1065
3	48,2	287,7	0,2861	45,35	85,64	44,04	1128
Биодиты ПМ : ДТ							
4	42,7	254,8	0,2328	45,56	84,09	44,05	1037
5	43,0	256,7	0,2401	48,77	84,23	44,04	1035
6	43,7	261,1	0,2472	45,92	84,51	44,03	1046
Биодиты ПМ* : ДТ							
7	43,3	258,8	0,2390	45,38	84,28	44,05	1052
8	44,8	267,3	0,2523	45,46	84,69	44,05	1070
9	46,4	276,9	0,2677	45,46	85,17	44,04	1097
Д-245.12С ( $n = 1400$ мин. <sup>-1</sup> )							
1	62,1	423,8	0,2118	45,49	88,09	77,53	1016
2	62,3	425,0	0,2497	44,83	88,23	77,46	1058
3	66,7	455,1	0,2831	43,48	88,85	77,42	1143
4	60,8	415,1	0,2236	45,14	87,94	77,49	1034
5	60,8	414,6	0,2324	45,04	87,95	77,48	1036
6	61,3	418,6	0,2409	44,93	88,06	77,47	1046
7	62,0	422,9	0,2289	45,01	88,11	77,50	1047
8	63,4	432,6	0,2440	44,66	88,34	77,46	1072
9	64,8	442,1	0,2623	44,06	88,57	77,44	1106

Примечание.  $N_e$  – эффективная мощность, кВт;  $M_e$  – эффективный крутящий момент, Н·м;  $b_e$  – удельный эффективный расход топлива, кг/(кВт·ч);  $\eta_{тепл}$  и  $\eta_{мех}$  – эффективные тепловой (индикаторный) и механический КПД, %;  $p_{max}$  и  $T_{max}$  – максимальные давление [бар] и температура [К] в камере сгорания ДВС.

Тем не менее при анализе данных таблицы 2 можно обнаружить общую закономерность – увеличение всех исследованных показателей дизелей типа 4С 11/12,5 при замене штатного минерального ДТ на предлагаемое альтернативное биотопливо как в чистом варианте, так и в виде биодитов различного состава. Это факт уже отличен от обнаруженных ранее нами зависимостей этих же моторов [14], при работе на режиме ММ, когда они проявляли определенную нелинейность от состава топливных смесей ПМ : ДТ и ПМ\* : ДТ, особенно для дизелей с наддувом.

Так, прирост мощности  $N_e$  и симбатный с ней прирост величины  $M_e$  для атмосферного варианта исследованного дизеля при его переводе с ДТ на ПМ составили 4,9 и 4,9% соответственно, а при его переводе с ДТ на оксипроизводные ПМ\* произошел прирост обоих показателей на 13,1 и 13,2%.

Это требует повышенного расхода биотоплива по сравнению с ДТ, так как величина  $b_e$  увеличилась на 13,2 и 27,1% при переводе дизеля на ПМ и ПМ\* (табл. 2). Это находится в полном соответствии с химмотологическими закономерностями для альтернативного топлива на основе растительных масел, обнаруженных нами ранее [14], а именно снижением их теплотворной способности (низшей теплоты сгорания), увеличением содержания в них кислорода, при неизменном (при переходе от топлива к топливу), возрастающем (при переходе от атмосферного дизеля к мотору с наддувом) коэффициентом избытка воздуха в топливо-воздушной смеси [8, 9].

В целом же обнаруженные нами закономерности подтверждаются и экспериментальными результатами других исследователей, полученными для аналогичных ДВС на таких же режимах [12, 23].

Кроме того, по данным таблицы 2, наблюдается еще одна общая закономерность – увеличение максимальной температуры в камере сгорания (в момент выпуска газоз-воздушной смеси при открытии соответствующего клапана) при смене ДТ на ПМ, особенно на ПМ\*, в то время как максимальное давление в КС практически не изменяется. Напомним, что аналогичный показатель  $T_{max}$  дизелей этого типа на режиме ММ также увеличивался почти на 100°C при переходе от ДТ к ПМ\*, в то время как давление  $p_{max}$  уменьшалось. Однако общая тепловая напряженность рабочего процесса на режиме МКМ уменьшилась, по сравнению с режимом ММ, почти на 800°C, что ожидаемо делает его более экологичным.

Во-первых, это говорит о высоком совершенстве политропного процесса в ДВС при его работе на исследованном режиме МКМ на альтернативных биотопливах, а, во-вторых, актуализирует задачу построения ВСХ исследованных ДВС, при их работе на ПМ\* и его смесях ПМ\* : ДТ различного состава на различных режимах, что и будет нами сделано в следующей работе. Использованные нами литературные данные по эффективным параметрам рабочего процесса [17-19]:  $N_e$ ,  $M_e$  и  $b_e$ , как и полученные самостоятельно характеристики при сделанных допущениях [14] уже не смогут обеспечить приемлемой адекватности РК-моделей ДВС, особенно при оценке их потенциальной экологичности при переходе на предлагаемое альтернативное топливо.

### Выводы

1. Исследовано изменение основных параметров рабочих процессов в атмосферных и турбированных дизельных двигателях типа 4Ч 11/12,35 на режиме максимального крутящего момента (режим МКМ) при их переводе с минерального ДТ на подсолнечное масло (ПМ), его оксипроизводные – ПМ\*, и биодиты различного состава.

2. Верификация компьютерных РК-моделей дизелей Д-243.1 и Д-245.2 по показателям ( $M_e$ ,  $b_e$ ) на режиме МКМ при работе на чистом ДТ показала их высокую адекватность. Ошибка компьютерных расчетов по моделям не превысила 7,0%.

3. При использовании оксипроизводных ПМ\* в составе биодитов с ДТ, на режиме МКМ, наблюдается увеличение параметров  $M_e$ ,  $N_e$  до 4,0-13,2%, однако при этом увеличивается и

расход альтернативного биотоплива  $b_e$  до 13,2-27,1%.

### Библиографический список

1. Кочетков, М. Н. Анализ и прогноз производства биотоплива в мире / М. Н. Кочетков, Е. В. Овчинников. – Текст: непосредственный // Инновации в сельском хозяйстве. – 2017. – № 4. – С. 122-126.
2. Giroldo, M., Werninghaus, E., Coelho, E., Makant, W. (2005). Development of 1.6L Flex Fuel Engine for Brazilian Market. *SAE Technical Paper*. 2005-01-4130. <https://doi.org/10.4271/2005-01-4130>.
3. Василевкин Е. В. Конструктивные изменения в ДВС, необходимые при переходе на бензоэтанольные топлива / Е. В. Василевкин, В. Н. Егоров, К. С. Руновский. – Текст: непосредственный // Известия МГТУ «МАМИ». – 2013. – Т. 7, № 1-1. – С. 10-14.
4. Roeker G.G. Rapsol-Methyl-Ester eignet sich als Eranzung zu Dieselkraftstoff // *Maschinenmarkt*. -1995. -№ 1/2. -Jg. 101. -S. 22-24.
5. ASTM D6751-2020. Standard Specification for Biodiesel Fuel Blend Stock (B100) for Middle Distillate Fuels
6. ГОСТ 33131-2014. Смеси биодизельного топлива (B6-B20). Технические требования. – Текст: непосредственный.
7. Системные решения «БОШ» по сокращению выбросов CO<sub>2</sub> и других компонентов отработанных газов / У. Радмахер, Й. Вагнер, Б. Менхер, Ш. Келлер. – Текст: непосредственный // Журнал автомобильных инженеров. – 2011. – № 4 (69). – С. 42-49.
8. Стуканов, В.А. Основы теории автомобильных двигателей и автомобиля / В.А. Стуканов. – Текст: непосредственный. – Москва: Форум: Инфра-М, 2005. – 368 с. – Текст: непосредственный.
9. Петриченко, Р. М. Физические основы внутрицилиндровых процессов в двигателях внутреннего сгорания / Р. М. Петриченко. – Ленинград: ЛГУ, 1983. – 244 с. – Текст: непосредственный.
10. ГОСТ 52368-2005 (EN 590:2009). Топливо дизельное Евро. Технические условия. – Текст: непосредственный.
11. Уханов, А. П. Дизельное смешевое топливо: монография / А. П. Уханов, Д. А. Уханов, Д. С. Шеменев. – Пенза: РИО ПГСХА, 2012. – 148 с. – Текст: непосредственный.
12. Марков, В. А. Использование подсолнечного масла в качестве топлива для дизелей /

В. А. Марков, С. Н. Девянин, В. В. Маркова. – Текст: непосредственный // Транспорт на альтернативном топливе. – 2010. – № 5 (17). – С. 42-47.

13. Кривенко, Д. А. Смесевое минерально-растительное топливо для ДВС сельскохозяйственных машин на основе местного сырья, и технология его получения / Д. А. Кривенко, А. В. Ишков. – Текст: непосредственный // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник материалов: в 2 книгах / XVII Международная научно-практическая конференция. – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2022. – Кн. 2. – С. 49-52.

14. Кривенко, Д. А. Исследование рабочего процесса автотракторных дизелей Минского моторного завода на режиме максимальной мощности при использовании альтернативного биотоплива / Д. А. Кривенко, А. Ю. Логвинов, А. В. Ишков. – DOI 10.53083/1996-4277-2024-233-3-75-84. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2024. – № 3 (233). – С. 75-84.

15. Программный комплекс ДИЗЕЛЬ-ПК: официальный сайт. – URL: <https://diesel-rk.ru/Rus/> (дата обращения: 02.02.2024). – Текст: электронный.

16. Дизели Д-243, Д-245 и их модификации: руководство по эксплуатации. – Минск: ОАО ММЗ, 2009. – 80 с. – Текст: непосредственный.

17. Дизельный двигатель ММЗ Д-243: официальный сайт. – URL: [https://www.powerunit.ru/services/technical\\_support/diesel\\_engines/m mz/d\\_243/](https://www.powerunit.ru/services/technical_support/diesel_engines/m mz/d_243/) (дата обращения: 02.02.2024). – Текст: электронный.

18. Дизельный двигатель ММЗ Д-245: официальный сайт. – URL: [https://www.powerunit.ru/services/technical\\_support/diesel\\_engines/m mz/d\\_245/](https://www.powerunit.ru/services/technical_support/diesel_engines/m mz/d_245/) (дата обращения: 02.02.2024). – Текст: электронный.

19. Кривенко, Д. А. Теплотворная способность оксипроизводных триглицеридов подсолнечного масла и перспективы их использования в альтернативном топливе для сельхозмашин / Д. А. Кривенко, А. В. Ишков, В. А. Новоженев. – DOI 10.53083/1996-4277-2023-221-3-86-94. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2023. – № 3 (221). – С. 86-94.

20. Охотников Б.Л. Эксплуатация двигателей внутреннего сгорания: учебное пособие / Б. Л. Охотников. – Екатеринбург: Изд-во Ураль-

ского ун-та, 2014. – 140 с. – Текст: непосредственный.

21. Экологические классы автотранспортных средств и моторных топлив / Л. А. Гнедова, К. А. Гриценко, Н. А. Лапушкин [и др.]. – Текст: непосредственный // Транспорт на альтернативном топливе. – 2012. – № 4 (28). – С. 22-27.

22. Morales, C., Mafla, C., Cevallos, I., Hernandez, E. (2021). Effect of the use of additives in biodiesel blends on the performance and opacity of a diesel engine. *Materials Today: Proceedings*. 49. DOI: 10.1016/j.matpr.2021.07.478.

23. Экспериментальная оценка влияния смешанного топлива на показатели рабочего процесса дизеля / А. П. Уханов, Е. А. Сидоров, Л. И. Сидорова, Е. Д. Година. – Текст: непосредственный // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 3. – С. 33-37.

### References

1. Kochetkov, M.N. Analiz i prognoz proizvodstva bitopliva v mire / M.N. Kochetkov, E.V. Ovchinnikov // *Innovatsii v selskom khoziaistve*. – 2017. – No. 4. – S. 122-126.

2. Giroldo, M., Werninghaus, E., Coelho, E., Makant, W. (2005). Development of 1.6L Flex Fuel Engine for Brazilian Market. *SAE Technical Paper*. 2005-01-4130. <https://doi.org/10.4271/2005-01-4130>.

3. Vasilevkin E.V., Egorov V.N., Runovskii K.S. Konstruktivnye izmeneniia v DVS, neobkhodimye pri perekhode na benzoetanolnye topliva // *Izvestiia MGTU «MAMI»*. – 2013. – Т. 7. – No. 1-1. – S. 10-14.

4. Roeker G.G. Rapsol-Methyl-Ester eignet sich als Ernanzung zu Dieselkraftstoff // *Maschinenmarkt*. - 1995. - No. 1/2. – Jg. 101. – S. 22-24.

5. ASTM D6751-2020. Standard Specification for Biodiesel Fuel Blend Stock (B100) for Middle Distillate Fuels.

6. GOST 33131-2014. Smesi biodizelnogo topliva (V6-V20). *Tekhnicheskie trebovaniia*.

7. Radmakher U., Vagner I., Menkher B., Keller Sh. Sistemnye resheniia «BOSH» po sokrashcheniiu vybrosov SO<sub>2</sub> i drugikh komponentov otrabotannykh gazov // *Zhurnal avtomobilnykh inzhenerov*. – 2011. – No. 4 (69). – S. 42-49.

8. Stukanov, V.A. Osnovy teorii avtomobilnykh dvigatelei i avtomobilia / V.A. Stukanov. – Moskva: Forum: Infra-M, 2005. – 368 s.

9. Petrichenko R.M. Fizicheskie osnovy vnutritsilindrovnykh protsessov v dvigateliakh vnutrennego

sgoraniia / R.M. Petrichenko. – Leningrad: LGU, 1983. – 244 s.

10. GOST 52368-2005 (EN 590:2009). Topливо dizelnoe Evro. Tekhnicheskie usloviia.

11. Ukhanov, A.P. Dizelnoe smesevoe toplivo / A.P. Ukhanov, D.A. Ukhanov, D.S. Shemenov: monografiia. – Penza: RIO PGSKhA, 2012. – 148 s.

12. Markov, V.A. Ispolzovanie podsolnechnogo masla v kachestve topliva dlia dizelei / V.A. Markov, S.N. Devianin, V.V. Markova // Transport na alternativnom toplive. - 2010. – No. 5 (17). – S. 42-47.

13. Krivenko, D.A. Smesevoe mineralno-rastitelnoe toplivo dlia DVS selskokhoziaistvennykh mashin na osnove mestnogo syria, i tekhnologii ego polucheniia / D.A. Krivenko, A.V. Ishkov // Ag-rarnaia nauka – selskomu khoziaistvu: sbornik ma-terialov: v 2 kn. / XVII Mezhdunarodnaia nauchno-prakticheskaia konferentsiia. – Barnaul: RIO Altaiskogo GAU, 2022. – Kn. 2. – S. 49-52.

14. Krivenko D.A., Logvinov A.Iu., Ishkov A.V. Issledovanie rabocheho protsessa avtotraktornykh dizelei Minskogo motornogo zavoda na rezhime maksimalnoi moshchnosti pri ispolzovanii alternativnogo biotopliva // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2024. – No. 3 (233). – S. 75-84. DOI: 10.53083/1996-4277-2024-233-3-75-84.

15. Programmnyi kompleks DIZEL-RK: ofitsialnyi sait. – Elektron. resurs. – Rezhim dostupa: <https://diesel-rk.ru/Rus/>. (02.02.2024).

16. Dizeli D-243, D-245 i ikh modifikatsii / rukovodstvo po ekspluatatsii. – Minsk: OAO MMZ, 2009. – 80 s.

17. Dizelnyi dvigatel MMZ D-243: ofitsialnyi sait. – Elektron. resurs. – Rezhim dostupa:

[https://www.powerunit.ru/services/technical\\_support/diesel\\_engines/mmz/d\\_243/](https://www.powerunit.ru/services/technical_support/diesel_engines/mmz/d_243/). (02.02.2024).

18. Dizelnyi dvigatel MMZ D-245: ofitsialnyi sait. – Elektron. resurs. – Rezhim dostupa: [https://www.powerunit.ru/services/technical\\_support/diesel\\_engines/mmz/d\\_245/](https://www.powerunit.ru/services/technical_support/diesel_engines/mmz/d_245/). (02.02.2024).

19. Krivenko, D.A. Ishkov A.V., Novozhenov V.A. Teplotvornaia sposobnost oksiproizvodnykh triglitseridov podsolnechnogo masla i perspektivy ikh ispolzovaniia v alternativnom toplive dlia selkhoz mashin / D.A. Krivenko, A.V. Ishkov, V.A. Novozhenov V.A. // Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2023. – No. 3 (221). – S. 86-94.

20. Okhotnikov B.L. Ekspluatatsiia dvigatelei vnutrennego sgoraniia / B.L. Okhotnikov / uchebnoe posobie. – Ekaterinburg: Izd-vo Uralskogo un-ta, 2014. – 140 s.

21. Gnedova L.A., Gritsenko K.A., Lapushkin N.A., Liugai S.V., Peretriakhina V.B. Ekologicheskie klassy avtotransportnykh sredstv i motornykh topliv // Transport na alternativnom toplive. – 2012. – No. 4 (28). – S. 22-27.

22. Morales, C., Mafla, C., Cevallos, I., Hernandez, E. (2021). Effect of the use of additives in biodiesel blends on the performance and opacity of a diesel engine. *Materials Today: Proceedings*. 49. DOI: 10.1016/j.matpr.2021.07.478.

23. Ukhanov, A.P. Eksperimentalnaia otsenka vliianiia smesevogo topliva na pokazateli rabocheho protsessa dizelia / A.P. Ukhanov, E.A. Sidorov, L.I. Sidorova, E.D. Godina // Izvestiia Samarskoi GSKhA. – 2012. – No. 3. – S. 33-37.



УДК 631.316.022.4:620.178.16  
DOI: 10.53083/1996-4277-2024-234-4-85-92

**Р.В. Даманский**  
**R.V. Damanskiy**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ИЗНОСА РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ  
СТРЕЛЬЧАТЫХ ЛАП КУЛЬТИВАТОРОВ ИЗ СТАЛЕЙ 65Г И 20  
ПРИ ИСПЫТАНИЯХ В ПОЧВЕННОМ КАНАЛЕ**

**STUDY OF WEAR CHARACTERISTICS OF THE CUTTING EDGE OF DUCKFOOT SWEEPS  
OF CULTIVATORS MADE OF STEELS 65G AND 20 DURING TESTS IN A SOIL CHANNEL**

**Ключевые слова:** культиватор, стрелчатая лапа, износ, режущая кромка, затупление, почвенный канал, упрочнение, индукционная закалка, цементация.

**Keywords:** cultivator, duckfoot sweep, wear, cutting edge, blunting, soil channel, hardening, induction hardening, carburizing.