



УДК 544.332.3:631.372:662.75
DOI: 10.53083/1996-4277-2024-233-3-75-84

Д.А. Кривенко, А.Ю. Логвинов, А.В. Ишков
D.A. Krivenko, A.Yu. Logvinov, A.V. Ishkov

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА АВТОТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЕЙ МИНСКОГО МОТОРНОГО ЗАВОДА НА РЕЖИМЕ МАКСИМАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АЛЬТЕРНАТИВНОГО БИОТОПЛИВА

INVESTIGATION OF OPERATING PROCESS OF AUTOMOTIVE DIESEL ENGINES OF THE MINSK MOTOR PLANT IN MAXIMUM POWER MODE USING ALTERNATIVE BIOFUEL

Ключевые слова: дизельный ДВС, биотопливо, оксодериваты подсолнечного масла, химмотология, компьютерное моделирование, эффективная мощность и крутящий момент двигателя.

Перспективным вариантом биотоплива для дизельных ДВС являются смеси растительных масел с нефтяным дизельным топливом – биодиты. Для их получения, кроме рапсового масла, могут использоваться и другие растительные масла (соевое, подсолнечное, льняное, касторовое и др.), в зависимости от их доступности и стоимости в различных странах и регионах, а также не требуется переэтерификация масла. Однако широкое использование биодитов ограничивается отличием химмотологических показателей растительных масел и нефтяного дизельного топлива. Для получения альтернативного биотоплива предложена химическая модификация подсолнечного масла, при его окислении в реакции Вагнера (1-3%-ный раствор KMnO_4 , $\text{pH} = 7-8$). При этом образуются соответствующие оксодериваты, которые имеют низкие значения теплоты сгорания, из-за чего вопрос их использования как альтернативного биотоплива в дизеле остается открытым. В работе на компьютерных моделях исследованы рабочие процессы в дизелях Д-243, Д-245, Д-260 и их модификаций на режиме максимальной мощности при работе на оксодериватах подсолнечного масла и их смесях с нефтяным дизельным топливом. Установлено, что эффективная мощность (N_e) атмосферного двигателя Д-243 увеличивается на 4,5-13,4%, а турбированных Д-245, Д-260 – на 6,9-8,2%. Симбатно

N_e увеличивается и величина эффективного крутящего момента (M_e) на 6,9-12,8%.

Keywords: diesel engine, biofuel, sunflower oil oxoderivates, chemmotology, computer modeling, engine effective power and torque.

Mixtures of vegetable oils with petroleum diesel fuel - biodites - are promising variants of biofuel for diesel internal combustion engines. For their production, besides rapeseed oil, other vegetable oils (soybean, sunflower, linseed, castor, etc.) can be used depending on their availability and cost in different countries and regions, and also oil transesterification is not required. However, widespread use of biodites is limited by the difference of the chemmotological indices of vegetable oils and petroleum diesel fuel. To obtain alternative biofuels, the authors proposed chemical modification of sunflower oil by its oxidation in the Wagner reaction (1...3% KMnO_4 solution, $\text{pH} = 7...8$). In this case, the corresponding oxoderivates are formed which have low combustion values, therefore their use as an alternative biofuel in diesel is an open issue. Through computer generated simulation the operating processes in diesel engines D-243, D-245, D-260 and their modifications in the maximum power mode fueled by oxoderivates of sunflower oil and their mixtures with petroleum diesel fuel were investigated. It was found that the effective power (N_e) of the atmospheric engine D-243 increased by 4.5...13.4%, and turbocharged D-245 and D-260 - by 6.9...8.2%. Symatically, the effective torque (M_e) increased by 6.9...12.8%.

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

Логвинов Александр Юрьевич, магистрант, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: shura.logvinov.00@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

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

Logvinov Aleksandr Yurevich, master's degree student, Altai State Agricultural University, Barnaul, Russian Federation, e-mail: shura.logvinov.00@mail.ru.

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

Введение

В настоящее время в качестве альтернативного топлива для автотракторных дизельных ДВС исходя из ресурсных, экономических, экологических и иных соображений в качестве перспективных в России рассматриваются различные биотоплива [1], а в странах Европы эти же топлива уже более 10 лет успешно применяются на транспорте [2]. Различные варианты биотоплива представляют собой продукты химической переработки (переэтерификации) различных растительных масел (РМ), в основном рапсового [3] – метиловый эфир рапсового масла (МЭРМ). Кроме того, в качестве биотоплива применяются смеси МЭРМ с нефтяным (минеральным) дизельным топливом (ДТ) [4].

Отдельным направлением является использование в качестве биотоплива смесей чистых растительных масел с ДТ – смесевых биотоплив, или, так называемых, биодитов, причем в этом случае ассортимент применяемых растительных масел может быть значительно расширен (соевое, подсолнечное, рыжиковое, льняное, касторовое и др.), в зависимости от их доступности и стоимости в различных странах и регионах [5-7]. Однако широкое использование таких смесевых биотоплив связано с рядом объективных ограничений, возникающих из-за несоответствия основных химмотологических показателей РМ аналогичным параметрам ДТ, прежде всего это: молекулярная масса, плотность и вязкость, температура самовоспламенения, цетановое число (ЦЧ), переменный жирнокислотный состав, сама неопределенность и, прежде всего, связанная с ней низкая стойкость и стабильность и пр. Поэтому доля РМ в составе таких смесей, в отличие от смесей МЭРМ с ДТ, редко превышает 20-25% [4, 7].

По нашему мнению, решением этой проблемы может стать модификация РМ, которая, в отличие от его переэтерификации, не затрагивает основной структуры молекул триглицеридов высших жирных кислот (ВЖК), но позволяет,

путем присоединения к двойной С=С-связи различных реагентов, уменьшить неопределенность ВЖК, повысить функциональность РМ, изменить их плотность, вязкость, сгораемость и пр. за счет реакций: гидрогенизация, окисление, гидратация, нитрование и др. [8]. Во-вторых, возможно использование в составе биотоплив и(или) их смесей с ДТ различных присадок (цетан-корректоров, антигелей, смазывающих присадок и пр.), приводящих их химмотологические показатели в соответствие с нормированными значениями параметров базового нефтяного топлива [9].

В качестве перспективного варианта такой модификации ранее нами было предложено мягкое окисление РМ, в частности подсолнечного масла (ПМ), в нейтральной или слабощелочной среде ($pH = 7-8$) разбавленным (1-3%) водным раствором $KMnO_4$ (реакция Вагнера), с образованием на месте неопределенных связей ПМ остатков двухатомных спиртов и получением их соответствующих оксодериватов (ПМ*) – альтернативного биотоплива [10, 11]. В работе [12] было показано, что такие оксодериваты, по сравнению с ДТ, имеют меньшее значение нижней теплоты сгорания – Q_n , что неизбежно скажется на мощности, экономичности, экологических и иных параметрах работы ДВС на альтернативном топливе.

Цель работы – моделирование и исследование основных показателей рабочего процесса линейки автотракторных дизелей Минского моторного завода (ММЗ): Д-243, Д-245, Д-260 и их модификаций на режиме максимальной мощности при работе на альтернативном биотопливе – оксодериватах ПМ (ПМ*), а также их топливных смесях с ДТ.

Экспериментальная часть

В работе использован теоретический и расчетный методы исследования. В качестве основных показателей рабочего процесса ДВС были выбраны параметры, характеризующие

его энергетические (эффективные и индикаторные) показатели, процесс сгорания топлива в цилиндре и экономичность [13]: 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; T_{max} – максимальная температура цикла, К.

Исследование изменения указанных параметров для двигателей ММЗ выполняли на их компьютерных моделях, каждая из которых бы-

ла реализована как отдельный проект в специализированном ПО «Дизель-РК» [14], разработанном в МВТУ им. Н.Э. Баумана (v 4.3.0.189) (рис.). Данное ПО в учебных и исследовательских целях распространяется разработчиком в режиме «free ware», ядро программы доступно по сети Internet после регистрации по адресу: www.diesel-rk.bmstu.ru [15], а клиентская часть имеет требования: ОС Windows XP и выше, Internet Explorer 5.0 и выше и до 250 Мб свободной памяти в ОЗУ.

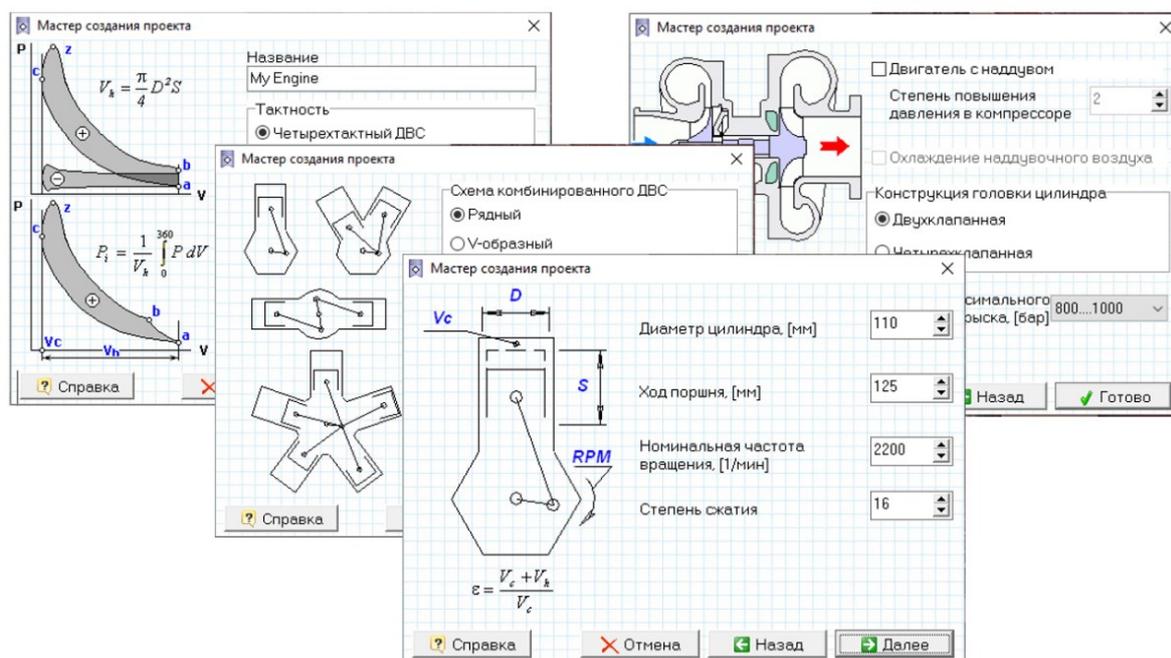


Рис. Каскад основных вкладок мастера проектов ПО «Дизель-РК» при создании РК-модели дизеля Д-243

Параметры созданных РК-моделей соответствовали основным параметрам двигателей Д-243, Д-245.Х (турбированный и его модификации – Х) и Д-260.Х (турбированный, с промежуточным охлаждением сжатого воздуха, и его модификации – Х) [16, 17] (табл. 1). Режим максимальной мощности, в соответствии с ВСХ этих ДВС, реализовывали заданием в расчетах числа оборотов на величину в 100-200 мин.⁻¹ меньшую номинальных (максимальных).

В качестве топлив использовали: чистое нефтяное ДТ Евро по ГОСТ Р 52368 [18], с ЦЧ = 48; модельное ПМ по [12]; его предельно окисленную модификацию (ПМ*), представляющую собой смесь гекса- и ундекаоксодериватов модельного ПМ, а также базовые смеси ПМ и ПМ* с ДТ с различным соотношением массовой доли компонентов ПМ:ДТ (25:75; 50:50 и 75:25).

Каждый вариант исследованного топлива был задан в отдельном режиме соответствующей РК-модели ДВС (всего 9 топлив и 9 режимов расчета).

Результаты и их обсуждение

Выбранная для исследований в работе линейка дизельных двигателей Минского моторного завода (ММЗ) является основой энергетических установок, широко используемой в настоящее время в России и ряде стран ближнего зарубежья мобильной сельскохозяйственной, коммунальной, дорожной и специальной техники и автотранспорта, а с учетом государственной политики импортозамещения и действия в отношении РФ санкций их доля в АПК страны будет только увеличиваться.

Основой большинства современных дизелей ММЗ является базовый четырехцилиндровый рядный атмосферный дизель Д-240 (4С LN 11/12,5), которым оснащались все колесные тракторы МТЗ-80/82 выпуска до 1995 г. Благодаря высоким надежности, ресурсу, ремонтнопригодности и низким эксплуатационным затратам многие из этих машин до сих пор используются на многих предприятиях АПК в регионах России [19].

В настоящее время заводом выпускается их более энергонасыщенная и экономичная версия – модель Д-243, а также еще более мощные, турбированные модели и их модификации: Д-245.Х и шестицилиндровый Д-260.Х. Линейка дизелей ММЗ имеет очень широкую применимость на тракторах и автомобилях [16, 17]: Д-243 применяется в основном на современных основных универсально-пропашных колесных тракторах тягового класса 1,4 – это модели тракторов МТЗ-80.1/82.1/920/920.2, а также на коммунальных машинах и спец. технике на их основе; модель Д-245.5 и другие ее модификации (Д-245.Х и их модификации экологического класса Евро-4,5) применяются на колесных тракторах тягового класса 1,4 – мод. МТЗ-892/892.1/922.3/952/952.3, а также на тракторах тягового класса 2,0 МТЗ-1021/1025.2/1220.3; наконец, дизель Д-260 в его различных вариантах (Д-260.Х) используется на колесных тракторах тягового класса 2,0-3,0 – это модели МТЗ-1221.3/1523/1525. Кроме того, модификации различной мощности турбированных дизелей Д-245.Х находят широкое применение на автотранспорте (грузовые автомобили ЗИЛ, ГАЗ, КАМАЗ, МАЗ, автобусы ЛАЗ и ПАЗ), кормоуборочных комбайнах КСК-100А, а также в составе дизель-электрогенераторных установок и компрессорных станций.

Параметры ДВС, использованные для задания их РК-моделей, приведены в таблице 1, откуда следует, что по основным параметрам ЦПГ, количеству клапанов исследованные двигатели (как и их РК-модели) взаимозаменяемы. Будем считать, что режим максимальной мощности для дизелей ММЗ Д-243 и Д-245 реализуется при частоте оборотов коленчатого вала (КВ) $n = 2200$ мин.⁻¹, а для Д-260 – при 2000 мин.⁻¹. Нормированные параметры максимальной мощности (N_e) и удельного расхода топлива (b_e) приведены специально для верификации разработанных моделей с реальными дизелями [16, 17],

а также с данными, опубликованными другими исследователями [4, 7]. Величину степени повышения давления турбокомпрессором π^* для простоты расчетов и сопоставления результатов принимали одинаковой – 2,0.

В нашем исследовании режим максимальной мощности специально был выбран для определения максимальных эффективных энергетических (N_e , M_e , η) параметров, параметров сгорания и экономичности ДВС (b_e , ρ_{max} , T_{max}) при его работе на предлагаемом альтернативном биотопливе для подтверждения возможности его использования вместо нефтяного ДТ.

Режим максимальной мощности дизелей часто очень близок к номинальному (в отличие от бензиновых ДВС), что позволяет им эффективно преобразовывать всю химическую энергию, запасенную в топливе, в механическую работу расширяющихся горячих газов [20], а высокая температура, развивающаяся на этом режиме в цилиндрах ДВС, приводит к снижению вредных выбросов: сажи, СО и углеводородов C_xH_y .

На этом режиме дизели, как правило, достигают максимальных значений мощности, КПД и других тепловых и энергетических параметров, характеризуются высокой приемистостью, но при этом удельный расход топлива максимальный. ДВС в режиме максимальной мощности могут кратковременно работать под нагрузкой, в 1,2-1,5 раза превышающей номинальную, а транспортное средство или машинно-тракторный агрегат при этом развивает максимальную скорость движения, ускорение, маневренность [21]. И хотя долговременная работа ДВС на этом режиме считается нежелательной, так как помимо повышенного расхода топлива приводит к износу деталей ЦПГ и КШМ, сопровождается повышенным шумом, вибрацией, перегревом двигателя и может вызвать его преждевременный выход из строя, тем не менее для дизельных ДВС он может реализовываться и даже включен в программу их стандартных испытаний по протоколу 13-ступенчатого испытательного цикла Правил 49 ЕЭК ООН на всех его этапах, наряду с режимом максимального крутящего момента [22].

Учет химмотологических показателей топлива в ПО «Дизель-РК» осуществлен разработчиком в основном заданием его химического (элементного) состава [14], а также отдельных физико-химических параметров (фракционный состав, плотность, вязкость, ЦЧ, Qн и др.) в соот-

ветствующей вкладке интерфейса. Так как в настоящее время эти альтернативные топлива нами только создаются, то основным показате-

лем топлива в расчетах является его элементный состав – доли химических элементов С, Н и О в нем.

Таблица 1

Параметры исследованных дизелей ММЗ

Параметр	Модель двигателя		
	Д-243	Д-245.Х	Д-260.Х
Тип (обозначение)	4С LN 11/12,5	4С LТi 11/12,5	6С L Ti 11/12,5
Количество цилиндров ДВС, расположение	4-рядное		6-рядное
Диаметр цилиндра, мм	100		
Ход поршня, мм	125		
Количество клапанов в КС	2		
Частота оборотов КВ, мин. ⁻¹			
максимальная	2400	2380	2260
номинальная	2200	2200	2000
минимальная	600	700	860
Номинальная мощность, л.с.	60 (82)	77 (105)	96 (114)
Удельный расход топлива при максимальном крутящем моменте, г/кВт*ч	226	245	220
Коэффициент избытка воздуха	1,75	2,00	2,00
Охлаждение ДВС	Водяное		
Степень сжатия	16	15,1	16
Турбокомпрессор (тип)	Отсутствует	+ (ТКР-6)	+ (ТКР-7)
Расход воздуха ТК, кг/с	–	0,15	0,27
Степень повышения давления	–	1,52-2,1	1,45-2,5
Интеркулер	Отсутствует	– / + (для АТ)	+

Примечание. КС – камера сгорания; КВ – коленчатый вал; ТК – турбокомпрессор; АТ – автотранспортное средство.

Указанный показатель мы рассчитывали по брутто-формулам модельного ПМ и его оксодериватов, взятых из [12], а также используя данные по углеводородному составу ДТ из стандарта [18]. Конечно, такой подход является весьма приближенным, так как все химические соединения при этом «обезличиваются», не учитывается природа углеводородов в ДТ и углеводородных радикалов в ПМ, вид и функциональность кислорода в оксодериватах (сложноэфирная группировка $\rightarrow(C=O)-O-$, или гидроксил –ОН), фракционный состав ДТ в смесях и пр. [23]. В первом приближении для оценки возможной величины потери/прибыли мощности ДВС при работе на альтернативном биотопливе и характера изменения индикаторных и иных показателей дизеля такой подход приемлем, о чем также свидетельствуют, например, работы [24, 25]. На практике же это можно скорректировать путем введения в состав топлива различных присадок.

Вывод брутто-формул ПМ, ПМ*, ДТ $C_xH_yO_z$ и расчет элементного состава биотоплива и его

смесей с ДТ ($\omega_C, \omega_H, \omega_O$) осуществляли по известным зависимостям:

$$C_xH_yO_z = \alpha \times C_{x1}H_{y1}O_{z1} + (1-\alpha) \times C_{x2}H_{y2}O_{z2}; \quad (1)$$

$$\omega_C = \frac{12x}{Mr(C_xH_yO_z)}; \quad (2)$$

$$\omega_H = \frac{y}{Mr(C_xH_yO_z)}; \quad (3)$$

$$\omega_O = \frac{16z}{Mr(C_xH_yO_z)}, \quad (4)$$

где α – массовая доля компонента (вещества) в смеси;

x_1, y_1, z_1 и x_2, y_2, z_2 – индексы при элементах углероде, водороде и кислороде (если есть) в первом (1) и втором (2) компоненте (веществе) соответственно;

$Mr(C_xH_yO_z)$ – относительная молярная масса компонента (вещества), г/моль.

Для повышения достоверности и адекватности проводимых расчетов будем использовать скорректированные значения ЦЧ, вязкости ν_{20} и плотности ρ_{20} , рассчитанные как аддитивные для смеси $C_xH_yO_z$: ДТ по формуле (5) и по данным [4, 7], а значения молекулярной массы Mr и низшей теплоты сгорания исследованных топлив Q_H взяты из [12]:

$\chi_{см}(C_xH_yO_z : ДТ) = \alpha \times \chi_{Т}(C_xH_yO_z) + (1-\alpha) \times \chi_{ДТ}$, (5)
где α - массовая доля компонента (вещества) в смеси;

$\chi_{см}$, $\chi_{Т}$, $\chi_{ДТ}$ – химмотологический показатель смеси, альтернативного топлива и ДТ соответственно.

Сводка данных по традиционному и альтернативным исследованным топливам приведена в таблице 2.

Значения ЦЧ для смесей принимали аддитивными, а для ПМ и ПМ* – равными 33 [7]. Вяз-

кость и плотность чистых оксодериватов ПМ* также условно принимали равными аналогичным показателям ПМ, поэтому в расчетах для всех биотопливных смесей эти показатели одинаковые.

Результаты модельных расчетов основных (эффективных) показателей двигателей ММЗ Д-243; Д-245 и Д-260 при работе на режиме максимальной мощности на различных исследованных топливах представлены в таблице 3.

Таблица 2

Химмотологические показатели исследованных топлив

Топливо (смесь)	Показатели					
	Брутто-формула	<i>M_r</i>	ν_{20}	ρ_{20}	<i>Q_H</i>	ЦЧ
Индивидуальные топлива						
ДТ	$C_{75,29}H_{144,65}$	1048,13	3,80	830	42620	48
ПМ	$C_{56,64}H_{28,08}O_6$	875,78	72,0	923	36895	33
ПМ*	$C_{56,64}H_{109,28}O_{15,18}$	1031,84	72,0	923	33067	33
Смеси ПМ : ДТ						
25ПМ : 75 ДТ	$C_{70,63}H_{133,50}O_{1,5}$	1005,06	20,85	853	41188	44
50ПМ : 50ДТ	$C_{65,46}H_{122,37}O_3$	955,89	37,90	876	39757	41
75ПМ : 25ДТ	$C_{61,3}H_{111,24}O_{4,5}$	918,84	54,95	899	38330	37
Смеси ПМ* : ДТ						
25ПМ* : 75ДТ	$C_{70,62}H_{135,8}O_{3,7}$	1042,44	20,85	853	40232	44
50ПМ* : 50ДТ	$C_{65,96}H_{126,96}O_{7,59}$	1039,92	37,90	876	37844	41
25ПМ* : 75ДТ	$C_{61,14}H_{118,12}O_{11,38}$	1033,40	54,95	899	35456	37

Примечание. *M_r* – относительная молярная масса, г/моль; ν_{20} – кинематическая вязкость (аддитивная) при температуре 20°С, мм²/с; ρ_{20} – плотность (аддитивная) при 20°С, г/мм³; *Q_H* – низшая теплота сгорания (расчетная), кДж/кг по [12]; ЦЧ – цетановое число (аддитивное).

Из данных, приведенных в таблицах 2, 3, следует, что при верификации РК-моделей по показателю мощности *N_e* при работе ДВС на выбранном режиме при использовании ДТ, ошибка между рассчитанными и ближайшими нормированными данными [16, 17] составила: -4,5%; +7,8% и +0,5% для всей дизелей Д-243, Д-245 и Д-260 соответственно, что говорит об их высокой адекватности и возможности использования для цели исследования. Данные по смеси 25ПМ:75ДТ оказались качественно близки к аналогичным параметрам, приведенным в [7], где на первом этапе испытания схожего по параметрам камеры сгорания дизеля Д-245.12С в 13-режимном цикле [22] на режиме максимальной мощности на смесевом биотопливе 20ПМ:80ДТ был отмечен рост часового расхода топлива в сравнении с расходом чистого ДТ.

Однако при учете всех 13 режимов за счет снижения теплотворной способности смесевого

биотоплива его эффективная мощность *N_e* и крутящий момент *M_e* снижаются.

При анализе данных таблицы 3 интересно отметить, что эффективная мощность нетурбированного двигателя Д-243, несмотря на пониженные величины теплоты сгорания ПМ и ПМ* по сравнению с ДТ (табл. 2), увеличилась на величину 4,5-13,4%, в то время как для турбированных Д-245 и Д-260 это увеличение не превысило 8,4 и 7,0% соответственно. Для всех двигателей возрос и показатель эффективного крутящего момента от 6,9-8,2% для турбированных дизелей (причем больший показатель характерен для Д-260, оснащенного интеркулером) до 12,8% – для дизеля без наддува.

Общим здесь является то, что максимальный прирост мощности и крутящего момента наблюдается при использовании в ДВС оксопроизводных подсолнечного масла в чистом виде. Наблюдаемые закономерности можно объяснить возрастающим удельным расходом аль-

тернативных топлив, а также ростом содержания в них кислорода при неизменном (при переходе от топлива к топливу), либо возрастающем (при переходе от нетурбированного дизеля к дизелю с наддувом) коэффициенте избытка воздуха в топливо-воздушной смеси [13, 20]. Об этом свидетельствует и планомерно увеличивающаяся максимальная температура в КС ДВС

при его переводе на альтернативные биотоплива, с ростом содержания в них кислорода.

Однако наиболее интересными оказались обнаруженные нелинейные зависимости исследованных параметров рабочего процесса дизелей ММЗ от состава топливных смесей ПМ:ДТ и ПМ*:ДТ, особенно для дизелей с наддувом.

Таблица 3

Показатели рабочего процесса двигателей ММЗ

Топливо (смесь)	Показатели, модель двигателя						
	N_e	M_e	b_e	$\eta_{тепл}$	$\eta_{мех}$	p_{max}	T_{max}
Д-243 ($n = 2200$ мин. ⁻¹)							
Индивидуальные топлива							
1	57,3	250,2	0,2371	45,85	80,75	82,2	1854
2	60,0	260,6	0,2639	46,93	81,57	72,3	1948
3	65,0	282,3	0,2950	46,25	82,57	77,8	1955
Смеси ПМ:ДТ							
4	57,4	249,1	0,2408	46,60	80,72	80,8	1895
5	57,9	251,3	0,2481	46,82	80,88	79,6	1912
6	59,0	256,0	0,2550	47,00	81,20	77,0	1936
Смеси ПМ*:ДТ							
7	58,3	253,1	0,2469	46,41	80,94	81,2	1895
8	60,3	261,6	0,2608	46,40	81,45	80,8	1910
9	62,5	271,2	0,2764	46,39	82,00	79,1	1932
Д-245.X ($n = 2200$ мин. ⁻¹)							
1	83,0	360,4	0,2242	45,55	83,50	109,8	1872
2	81,9	355,8	0,2689	44,22	83,50	104,7	1783
3	90,0	390,2	0,2982	43,74	84,60	107,5	1798
4	81,2	352,7	0,2362	45,26	83,32	106,4	1830
5	81,0	351,8	0,2488	45,05	83,31	105,4	1810
6	81,0	351,8	0,2585	44,60	83,33	104,8	1795
7	82,9	359,8	0,2422	45,15	83,60	106,7	1835
8	84,2	365,7	0,2602	44,40	83,80	106,4	1820
9	85,9	373,0	0,2804	43,70	84,10	106,0	1795
Д-260.X ($n = 2000$ мин. ⁻¹)							
1	114,6	547,5	0,2212	45,53	84,50	109,8	1871
2	114,2	545,5	0,2635	44,44	84,60	105,8	1786
3	122,7	585,8	0,2986	43,12	85,40	107,7	1774
4	112,4	536,8	0,2333	45,30	84,32	106,8	1831
5	111,7	533,6	0,2442	44,88	84,27	106,2	1810
6	112,8	538,5	0,2534	44,70	84,40	105,6	1800
7	114,9	548,7	0,2384	45,20	84,60	107,3	1835
8	117,0	558,8	0,2560	44,48	84,82	106,8	1815
9	119,3	570,0	0,2761	43,78	85,07	106,7	1788

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 (КС) ДВС.

Выводы

1. Верификация компьютерных моделей линейки автотракторных ДВС ММЗ (Д-243, Д-245.Х и Д-260.Х) по показателю N_e при их работе на режиме максимальной мощности ($n = 2000-2200$ мин.⁻¹) при использовании нефтяного дизельного топлива ДТ показала их высокую адекватность. Ошибка между рассчитанным и нормированным значением параметра составила 0,5-7,8%.

2. Оксопроизводные подсолнечного масла (как в чистом виде, так и в составе различных смесей) 25:75; 50:50 и 75:25, мас.%, с нефтяным дизельным топливом, могут быть использованы в качестве альтернативного биотоплива как для базового, атмосферного дизеля ММЗ Д-243, так и для турбированных дизелей Д-245, Д-260 и их различных модификаций.

3. При переходе с дизельного топлива на чистое подсолнечное масло, и далее на оксопроизводные, эффективная мощность двигателя (N_e) ММЗ Д-243, несмотря на пониженную теплоту сгорания, увеличивается на 4,5-13,4%, в то время как рост аналогичного параметра турбированных Д-245, Д-260 составляет 6,9-8,2%. Симбатно N_e увеличивается и величина эффективного крутящего момента (M_e) на 6,9-12,8%.

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. Jeswani, H. K., Chilvers, A., Azapagic, A. (2020). Environmental sustainability of biofuels: a review. *Proceedings. Mathematical, Physical, and Engineering Sciences*, 476 (2243), 20200351. <https://doi.org/10.1098/rspa.2020.0351>.

3. Fukuda, H., Kondo, A., Noda, H. (2001). Biodiesel fuel production by transesterification of oils. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 92 (5), 405–416. <https://doi.org/10.1263/jbb.92.405>.

4. Уханов, А. П. Дизельное смесевое топливо: монография / А. П. Уханов, Д. А. Уханов, Д. С. Шеменев. – Пенза: РИО ПГСХА, 2012. – 148 с. – Текст: непосредственный.

5. 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.

6. Dias, J., Araujo, J., Costa, J., et al.. (2013). Biodiesel production from raw castor oil. *Energy*. 53. 58–66. DOI: 10.1016/j.energy.2013.02.018.

7. 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.

8. Нейланд, О. Я. Органическая химия. Глава II. Алкены / О. Я. Нейланд. – Москва: Высшая школа, 1990. – С. 102-130. – Текст: непосредственный.

9. Данилов, А. М. Отечественные присадки к дизельным топливам / А. М. Данилов. – Текст: непосредственный // Мир нефтепродуктов. – 2010. – № 1. – С. 9-13.

10. 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.

11. Кривенко, Д. А. Смесевое топливо для двигателей внутреннего сгорания сельскохозяйственных машин / Д. А. Кривенко. – Текст: непосредственный // Вестник молодежной науки Алтайского государственного аграрного университета. – 2022. – № 2. – С. 57-61.

12. 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. Новожинов. – DOI 10.53083/1996-4277-2023-221-3-86-94. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2023. – № 3 (221). – С. 86-94.

13. Стуканов, В. А. Основы теории автомобильных двигателей и автомобиля / В. А. Стуканов. – Текст: непосредственный. – Москва: Форум: Инфра-М, 2005. – 368 с. – Текст: непосредственный.

14. Кулешов, С. А. Математическое моделирование и компьютерная оптимизация топливоподачи рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания: учебное пособие / С. А. Кулешов, Л. В. Грехов. – Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2000. – 64 с. – Текст: непосредственный

15. Программный комплекс ДИЗЕЛЬ-РК: официальный сайт. – URL: <https://diesel-rk.ru/Rus/> (дата обращения: 12.01.2024). – Текст: электронный.

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

17. Дизели Д-260.1 S2, Д-260.2 S2, L-260.4 S2, L-260.6 S2, L-260.6 S2: руководство по эксплуатации. – Минск: ОАО ММЗ, 2011. – 103 с. – Текст: непосредственный.

18. ГОСТ 52368-2005 (EN 590:2009). Топливо дизельное Евро. Технические условия. – Москва: Стандартинформ, 2009. – 39 с. – Текст: непосредственный

19. Окунев, Г. А. Тенденции формирования парка тракторов для сельских товаропроизводителей / Г. А. Окунев, Н. А. Кузнецов, А. В. Луковцев. – Текст: непосредственный // Вестник Курганской ГСХА. – 2020. – № 4. – С. 74-80.

20. Петриченко Р. М. Физические основы внутрицилиндровых процессов в двигателях внутреннего сгорания / Р. М. Петриченко. – Ленинград: ЛГУ, 1983. – 244 с. – Текст: непосредственный.

21. Охотников Б. Л. Эксплуатация двигателей внутреннего сгорания: учебное пособие / Б. Л. Охотников. – Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2014. – 140 с. – Текст: непосредственный

22. Селиванов, Н.И. Испытания автотракторных двигателей: учебное пособие / Н.И. Селиванов. – Красноярск: Изд-во КрасГАУ, 2014. – 220 с. – Текст: непосредственный.

23. Количественные соотношения и свойства смесевых систем углеводородного состава для дизельного двигателя / Ю. В. Панков, Л. А. Новопашин, Л. В. Денежко, А. А. Садов. – Текст: непосредственный // Аграрный вестник Урала. – 2016. – № 12 (154). – С. 72-76.

24. Година, Е. Д. Определение степени теплоты сгорания дизельного смесевого топлива из соевого масла / Е. Д. Година. – Текст: непосредственный // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М. К. Аммосова. – 2013. – Т. 10, № 5. – С. 25-29.

25. Экспериментальная оценка влияния смесевого топлива на показатели рабочего процесса дизеля / А. П. Уханов, Е. А. Сидоров, Л. И. Сидорова, Е. Д. Година. – Текст: непосредственный // Известия Самарской ГСХА. – 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. Jeswani, H. K., Chilvers, A., Azapagic, A. (2020). Environmental sustainability of biofuels: a review. *Proceedings. Mathematical, Physical, and Engineering Sciences*, 476 (2243), 20200351. <https://doi.org/10.1098/rspa.2020.0351>.

3. Fukuda, H., Kondo, A., Noda, H. (2001). Biodiesel fuel production by transesterification of oils. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 92 (5), 405–416. <https://doi.org/10.1263/jbb.92.405>.

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

5. 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.

6. Dias, J., Araujo, J., Costa, J., et al.. (2013). Biodiesel production from raw castor oil. *Energy*. 53. 58–66. DOI: 10.1016/j.energy.2013.02.018.

7. 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.

8. Neiland, O.Ia. Organicheskaia khimiia. Glava II. Alkeny / O.Ia. Neiland. – Moskva: Vysshiaia shkola, 1990. – S. 102-130.

9. Danilov A.M. Otechestvennye prisadki k dizelnym toplivam / A.M. Danilov // Mir nefteproduktov. – 2010. – No. 1. – S. 9-13.

10. Krivenko, D.A. Smesevoe mineralno-rastitelnoe toplivo dlia DVS selskokhoziaistvennykh mashin na osnove mestnogo syria, i tekhnologiiia ego polucheniia / D.A. Krivenko, A.V. Ishkov // Agrarnaia nauka – selskomu khoziaistvu: sbornik materialov: v 2 knigakh / XVII Mezhdunarodnaia nauchno-prakticheskaia konferentsiia. – Barnaul: RIO Altaiskogo GAU, 2022. – Kn. 2. – S. 49-52.

11. Krivenko, D.A. Smesevoe toplivo dlia dvigatelei vnutrennego sgoraniia selskokhoziaistvennykh mashin / D.A. Krivenko // Vestnik molodezhnoi nauki Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2022. – No. 2. – S. 57-61.

12. Krivenko, D.A. Ishkov A.V., Novozhegov V.A. Teplotvornaia sposobnost oksiproizvodnykh triglitserydov 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.

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

14. Kuleshov, S.A. Matematicheskoe modelirovanie i kompiuternaia optimizatsiia toplivopodachii rabochikh protsessov dvigatelei vnutrennego sgoraniia / S.A. Kuleshov, L.V. Grekhov / uchebnoe posobie. – Moskva: MG TU im. N.E. Bauman, 2000. – 64 s.

15. Programmnyi kompleks DIZEL-RK: ofitsialnyi sait. – Elektron. resurs. – Rezhim dostupa: <https://diesel-rk.ru/Rus/> (12.01.2024).

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

17. Dizeli D-260.1 S2, D-260.2 S2, L-260.4 S2, L-260.6 S2, L-260.6 S2 / rukovodstvo po ekspluatatsii. – Minsk: OAO MMZ, 2011. – 103 s.

18. GOST 52368-2005 (EN 590:2009). Topливо dizelnoe Evro. Tekhnicheskie usloviia. – Moskva: Standartinform, 2009. – 39 s.

19. Okunev, G.A. Tendentsii formirovaniia parka traktorov dlia selskikh tovaroproizvoditelei / G.A. Okunev, N.A. Kuznetsov, A.V. Lukovtsev //

Vestnik Kurganskoi GSKhA. – 2020. – No. 4. – S. 74-80.

20. Petrichenko R.M. Fizicheskie osnovy vnutritsilindrovnykh protsessov v dvigateliakh vnutrennego sgoraniia / R.M. Petrichenko. – Leningrad: LGU, 1983. – 244 s.

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

22. Selivanov, N.I. Ispytaniia avtotraktornykh dvigatelei / N.I. Selivanov / uchebnoe posobie. – Krasnoiar'sk: Izd-vo KrasGAU, 2014. – 220 s.

23. Pankov, Iu. V. Kolichestvennye sootnosheniia i svoistva smesevykh sistem uglevodородного sostava dlia dizelnogo dvigatel'ia / Iu. V. Pankov, L. A. Novopashin, L. V. Denezhko, A. A. Sadov // Agrarnyi vestnik Urala. – 2016. – No. 12 (154). – S. 72-76.

24. Godina, E.D. Opredelenie stepeni teploty sgoraniia dizelnogo smesevogo topliva iz soevogo masla / E.D. Godina // Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta im. M.K. Ammosova. – 2013. – T. 10, No. 5. – S. 25-29.

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



УДК 621.43

DOI: 10.53083/1996-4277-2024-233-3-84-91

Р.В. Даманский

R.V. Damanskiy

ПОВЫШЕНИЕ НАРАБОТКИ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВС ТРАКТОРОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АПК

INCREASING THE OPERATING TIME OF TRACTOR DIESEL INTERNAL COMBUSTION ENGINES AT AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX ENTERPRISES

Ключевые слова: ресурс, распылитель, форсунка, прецизионная пара, льняное масло, присадка.

Решается вопрос о снижении наработки деталей топливной системы автотракторных дизельных ДВС. Указана актуальность повышения наработки ДВС тракторов, эксплуатируемых в условиях АПК. Отмечена необходимость в снижении изнашивания и повышения наработки деталей топливной системы дизелей. Представлен способ увеличения наработки узлов топливной системы. Автором отмечено, что одним из способов повышения наработки ДВС тракторов является улуч-

шение эксплуатационных свойств дизельных топлив. Поставлена задача повышения наработки и обеспечения ресурса прецизионных пар распылителей форсунок дизелей посредством улучшения эксплуатационных свойств топлив. Целью исследований является оценка влияния эксплуатационных свойств дизельного топлива с присадкой на основе растительных масел (талловое и льняное) на процесс изнашивания деталей распылителей форсунок дизельных ДВС. В качестве противоизносной присадки, обеспечивающей увеличение наработки топливной системы дизельных двигателей тракторов и комбайнов в условиях АПК, представлена