

6. Fedorenko, I.Ia. Vibratsionnye protsessy i ustroistva v APK / I.Ia. Fedorenko. – Barnaul: RIO Altaiskogo GAU, 2016. – 289 s. – EDN PSAXXF.

7. Fedorenko, I.Ia. Otsenka poter energii v sharnirakh treniia molotkovykh zernodrobilok / I.Ia. Fedorenko, S.V. Zolotarev, R.V. Bospoldenov // Agrarnaia nauka – sel'skomu khoziaistvu: sbornik materialov: v 2 kn. / XVII Mezhdunarodnaia nauchno-prakticheskaia konferentsiia (9-10 fevralia 2022 g.). – Barnaul: RIO Altaiskogo GAU, 2022. – Kn. 2. – S. 74-76. – EDN PCAMZY.

8. Patent No. 2746586 C1 Rossiiskaia Federatsiia, MPK B02C 13/04. Molotkovaia drobilka:

No. 2020130348: zaiavl. 14.09.2020: opubl. 16.04.2021 / I.Ia. Fedorenko, R.V. Bospoldenov; zaiavitel Federalnoe gosudarstvennoe biudzhethnoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego obrazovaniia "Altaiskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet". – EDN FSBBVQ.

*Данное исследование выполнено при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям в рамках федерального проекта «Платформа университетского технологического предпринимательства» (грант №462ГССС15-L/78541).*



УДК 544.332.3:631.372:662.75  
DOI: 10.53083/1996-4277-2023-221-3-86-94

Д.А. Кривенко, А.В. Ишков, В.А. Новоженев  
D.A. Krivenko, A.V. Ishkov, V.A. Novozhenov

## ТЕПЛОТВОРНАЯ СПОСОБНОСТЬ ОКСИПРОИЗВОДНЫХ ТРИГЛИЦЕРИДОВ ПОДСОЛНЕЧНОГО МАСЛА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В АЛЬТЕРНАТИВНОМ ТОПЛИВЕ ДЛЯ СЕЛЬХОЗМАШИН

### CALORIFIC VALUE OF HYDROXY DERIVATIVES OF SUNFLOWER OIL TRIGLYCERIDES AND PROSPECTS FOR THEIR USE IN ALTERNATIVE FUEL FOR AGRICULTURAL MACHINERY

**Ключевые слова:** биодизель, биодит, альтернативное топливо, экология сельского хозяйства, подсолнечное масло, оксопроизводное триглицерида, низшая теплота сгорания, формула Менделеева.

С научной и практической точек зрения интересным является использование в качестве альтернативного топлива не только продукта переэтерификации растительных масел – биодизеля, но и самих растительных масел, а также их смесей с минеральным топливом – биодита. Учитывая региональную специфику в качестве основного компонента биодита, следует рассматривать подсолнечное масло. Однако оно относится к классу высыхающих масел, поэтому его непосредственное использование в составе биодитов создает ряд трудностей. Для повышения стабильности подсол-

нечного масла в составе биодитов было предложено проводить его обработку 1-5%-ным водным раствором  $KMnO_4$  в нейтральной или щелочной среде, с образованием соответствующих оксопроизводных триглицеридов, которые уже не способны к дальнейшей окислительной полимеризации. В статье приведены результаты расчета теплотворной способности оксопроизводных триглицеридов подсолнечного масла и подтверждены перспективы их использования в качестве альтернативного топлива в составе биодита, доля растительного компонента в которых может быть доведена до 50-75%, и не требуется корректировка цикловой порции топлива. Предложен модельный состав подсолнечного масла, отвечающий требованиям нормативно-технических документов, представляющий смесь триглицеридов пальмитиновой ( $C_{16:0:0}$ ), стеариновой

(C<sub>18:0:0</sub>), олеиновой (C<sub>18:1:9</sub>) и линолевой кислот (C<sub>18:2:(9,12)</sub>) в соотношении, % мас.: -6:4:27:63. Расчетные значения низшей теплоты сгорания окисленных дериватов индивидуальных триглицеридов подсолнечного масла оказались на 11,5-20,9% ниже аналогичных величин исходных веществ.

**Keywords:** *biodiesel, biodite, alternative fuel, agricultural ecology, sunflower oil, triglyceride oxo-derivative, lower heat of combustion, Mendeleev's formula.*

From scientific and practical points of view, it is interesting to use as an alternative fuel not only the product of vegetable oils transesterification - biodiesel, but also vegetable oils themselves as well as their mixtures with mineral fuel - biodite. Taking into account regional specificity, sunflower oil should be considered as the main component of biodiesel, but it belongs to the class of drying oils, so its direct use in the composition of biodites creates a number

of difficulties. To increase stability of sunflower oil in biodites, it is suggested to treat it with 1...5% aqueous solution of KMnO<sub>4</sub> in neutral or alkaline media to form corresponding oxy-derived triglycerides which are not capable of further oxidative polymerization. This paper presents the results of calculation of calorific value of sunflower oil triglycerides and confirms the prospects of their use as an alternative fuel in biodiesel composition where the content of the plant component may be increased up to 50...75% and the adjustment of the cyclic portion of fuel is not required. A model composition of sunflower oil which meets the requirements of the normative and technical documents and is a mixture of triglycerides of palmitic (C<sub>16:0:0</sub>), stearic (C<sub>18:0:0</sub>), oleic (C<sub>18:1:9</sub>) and linoleic (C<sub>18:2:(9,12)</sub>) acids in a ratio, % wt: -6 : 4 : 27 : 63 is proposed. The calculated values of the lower heating value of combustion of oxidized derivatives of individual triglycerides of sunflower oil were by 11.5 ... 20.9% lower than similar values of the starting substances.

**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, ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: alekseyishk@rambler.ru.

**Новоженов Владимир Антонович**, д.х.н., профессор, ФГБОУ ВО Алтайский государственный университет, г. Барнаул, Российская Федерация, e-mail: novozenov@email.asu.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: alekseyishk@rambler.ru.

**Novozhenov Vladimir Antonovich**, Dr. Chem. Sci., Prof., Altai State University, Barnaul, Russian Federation, novozenov@email.asu.ru.

## Введение

Двигатели внутреннего сгорания (ДВС) на минеральном дизельном топливе (ДТ) с самого начала XX в. являются основным источником энергии в большинстве сельскохозяйственных машин. В современной сельхозтехнике дизельными ДВС оснащено уже более 80-85% всего парка машин, к которым можно добавить и дизельные электростанции, и мобильные сварочные генераторы, компрессоры, и другую специальную технику, без которой сейчас невозможно представить энергоэффективный производственный процесс в сельском хозяйстве [1]. Более того, именно АПК в настоящее время является основным потребителем ДТ как в России, так и в большинстве развитых стран, в то время как на долю железнодорожного, речного транспорта, а также личного и общественного коммерческого автотранспорта приходится не более 15-20% всего ДТ, выпускаемого нефтеперерабатывающей промышленностью [2]. Учитывая растущее внимание общества в целом и отрасли АПК, в частности к глобальным энергетическим и экологическим проблемам, тенденции к

уменьшению вредного воздействия от отработанных газов ДВС и повышению их эксплуатационной экологичности до ЕВРО-норм, а также комплекс международных и национальных программных мероприятий по снижению так называемого «углеродного следа» [3, 4], вопросы использования альтернативных видов топлива на сельхозтехнике приобретают особую актуальность.

В настоящее время в качестве альтернативного топлива для ДВС, в том числе и устанавливаемых на сельхозмашинах дизельных ДВС, исследованы и рекомендуются: ГМТ – газомоторное топливо (сжиженный природный и(или) сжатый (компримированный) нефтяной газ) [5], спирты (метанол, этанол, бутанол в чистом виде или в смеси с минеральным топливом), простые эфиры, растительные масла (PM) в чистом виде или в смеси с ДТ и др. [6, 7]. Но наибольшую известность в качестве альтернативного топлива для дизельных ДВС приобрел продукт их глубокой химической переработки (переэтерификации) – биодизель, представляющий собой смесь сложных метиловых (реже этиловых)

эфиров рапсового масла (РМЭ) [8]. По своим основным физико-химическим характеристикам биодизель оказался наиболее близок к минеральному (нефтяному) ДТ, а по ряду химотологических и экологических показателей даже превосходит последнее.

Однако многочисленные эксперименты и опыт длительного применения РМЭ в чистом виде показали, что часто наблюдаются: повышенный расход топлива; повышенный износ деталей топливной аппаратуры; повышенное нагарообразование; снижение эффективной мощности двигателя; затрудненный пуск; увеличение периодичности замены масла и другие отрицательные последствия [9], что требует изменение конструкции двигателя, или хотя бы штатной системы питания ДВС. Поэтому в тех странах, где применение биодизеля законодательно разрешено на штатных ДВС в качестве альтернативного топлива (Германия, Франция, США, Бразилия и др.), его применяют только в виде смесей с товарным ДТ, где доля биодизеля составляет 6-20% [10]. В этой связи с научной и практической точек зрения интересным становится использование как альтернативного топлива уже самих растительных масел (без перэтерификации), а также их применение в составе растительно-минеральных топливных смесей – биодитов, причем, в случае конкретного региона, также потребуются учитывать основную масличную культуру. В Алтайском крае в течение ряда лет основной масличной культурой является подсолнечник, а вырабатываемое из него подсолнечное масло (ПМ) также может быть использовано как альтернативное топливо в составе биодитов [11].

Чистое ПМ (в отличие от рапсового) относится к высыхающим РМ, поэтому его применение в составе биодитов ограничено и создает ряд трудностей, что связано с низкой термоокислительной стабильностью такого топлива при хранении, низкими депрессорными свойствами и пр. Ранее для повышения стабильности ПМ в составе растительно-минеральных топливных смесей [12, 13] нами было предложено проводить его обработку 1-5%-ным водным раствором  $KMnO_4$  в нейтральной или щелочной среде, с образованием соответствующих оскопроизводных триглицеридов, которые уже не способны к дальнейшей окислительной полимеризации при хранении, что переводит такое модифицированное ПМ (ПМ\*) уже в группу невысыхающих РМ.

В то же время такой важный физико-химический и химотологический параметр любого моторного топлива, как его теплотворная способность (как и многие другие характеристики таких окисленных дериватов ПМ) не приведены в литературе, а также имеют известную специфику, связанную с непостоянством жирнокислотного состава РМ.

**Цель** работы – расчет теплотворной способности оскопроизводных триглицеридов подсолнечного масла и подтверждение перспектив их использования в качестве альтернативного топлива в составе растительно-минеральных топливных смесей (биодитов) для их применения в дизельных ДВС сельхозмашин.

### Экспериментальная часть

Расчетное значение низшей теплоты сгорания  $Q_H$ , кДж/кг конкретного триглицерида или его деривата определяли по формуле Д.И. Менделеева (1) [14]:

$$Q_H = 418 \cdot \frac{[81 \cdot C \cdot n_C + 246 \cdot H \cdot n_H + 26 \cdot (N \cdot n_N + S \cdot n_S + \dots - O \cdot n_O)]}{M_r}, \quad (1)$$

где  $C, H, N, S, O$  – относительные атомные массы, соответственно, углерода, водорода, азота, серы, кислорода в топливе (деривате);

$n_C, n_H, n_N, n_S, n_O$  – индексы элементов в брутто-формуле конкретного деривата (количество атомов в молекуле);

$M_r$  – относительная молекулярная масса деривата, г/моль.

Для упрощения расчетную величину  $Q_H$  определяли с помощью «on-line» калькулятора, свободно доступного в Internetе по ссылке [15]. Внешний вид интерфейса рабочей панели калькулятора, с примером расчета низшей теплоты сгорания, на примере триглицерида олеиновой кислоты, приведен на рисунке 1. Данные по низшей теплоте сгорания ДТ взяты по справочнику [16].

Все остальные расчеты низших теплот сгорания смесей выполнены в предположении идеальности образующихся растворов. Так, для расчета теплоты сгорания ПМ и его модифицированной формы (ПМ\*) использовали его примерный, усредненный жирнокислотный состав (модельное ПМ) (табл. 1). Расчет проводили по известной формуле для многокомпонентной смеси (2):

$$Q_{H(ПМ)} = \sum_i Q_{Hi} \cdot \omega_i, \quad (2)$$

где  $Q_{Hi}$  – низшая теплота сгорания  $i$ -того компонента, кДж/кг;

$\omega_i$  – доля  $i$ -того компонента в смеси, кг/кг, л/л.



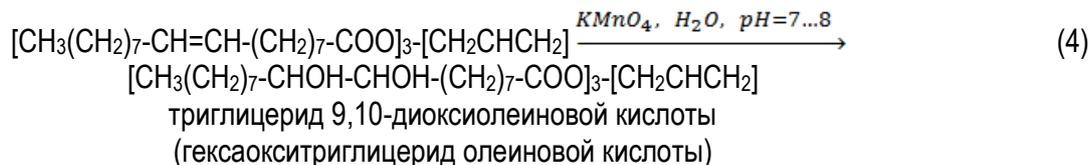
**Рис. 1. Внешний вид интерфейса рабочей панели «он-лайн» калькулятора с примером расчета величины низшей теплоты сгорания триглицерида олеиновой кислоты**

### Результаты и их обсуждение

Теплоту сгорания биодитов  $Q_n^*$  рассчитывали аналогично, используя массовую долю чистого или модифицированного ПМ в бинарной смеси с минеральным ДТ (3):

$$Q_n^* = \omega \cdot Q_n(\text{ПМ}) + (1 - \omega) \cdot Q_n(\text{ДТ}), \quad (3)$$

где  $Q_n(i)$  – низшая теплота сгорания  $i$ -того компонента, кДж/кг;



Естественно, что при протекании реакции окисления (4) в реальных условиях будут образовываться смеси различных продуктов, в которых только часть двойных углерод-углеродных связей в УВ-радикалах ВЖК в молекуле триглицерида подвергнется окислению, но количество присоединенных гидроксогрупп в дериватах всегда будет кратно двум, т.е. будут образовываться смеси ди-, тетра- и гексаоксипроизводных триглицеридов ПМ.

Принятый для нашего расчета усредненный жирнокислотный состав ПМ получен согласно ГОСТ 1129-2013 [17] (табл. 1).

Как следует из данных, приведенных в таблице 1, с учетом строения молекул триглицеридов, под воздействием выбранного нами реагента, в ПМ способны окисляться в мягких условиях с образованием соответствующих дериватов (ди-, тетра- или гексаоксотриглицеридов) только остатки следующих ВЖК: олеиновой, линолевой, линоленовой кислоты, гондоиновой и эруковой, содержащие, соответственно, по одной, две или три двойной углерод-углеродной

$\omega$  – доля ПМ в смеси (биодите), кг/кг.

Чистое ПМ является смесью различных триглицеридов (трижды замещенных сложных эфиров глицерина и различных высших жирных кислот (ВЖК), которые отличаются друг от друга как длиной углеводородного радикала, так и наличием, количеством, а также расположением у конкретного атома углерода в углеводородном радикале (УВ-радикал) кратной(ых), двойных углерод-углеродных (>C=C<) связей (табл. 1). Это позволяет не только записать общее химическое уравнение образования интересующего нас индивидуального деривата – окси(полиокси)-производного конкретного триглицерида (см. ниже, пример для триглицерида олеиновой кислоты) при его обработке 1-5%-ным водным раствором  $\text{KMnO}_4$ , в «мягких» условиях (pH = 7-8), но и установить (рассчитать) его химический (элементный) состав, брутто-формулу и рассчитать относительную молекулярную массу (4):

связи. Для упрощения расчетов пренебрегали теми триглицеридами, доля которых в ПМ составляет менее 1%. Расчет вели для модельного ПМ, представляющего смесь триглицеридов пальмитиновой, стеариновой, олеиновой и линолевой кислоты, взятых в соотношении, % мас.: -6:4:27:63 (табл. 1), а также для соответствующих чистых дериватов или их смеси аналогичного состава.

Если теперь предположить техническую возможность реализации протекания реакции окисления ПМ только по кратным углерод-углеродным связям с высокими, практически количественными выходами продуктов, а также если учитывать химическую инертность в эти условиях остатков предельных ВЖК, то это позволит, с учетом химического состава принятых для расчета ВЖК, рассчитать как химический состав (брутто-формулу) и относительную молекулярную массу дериватов, так и их низшие теплоты сгорания всех компонентов ПМ.

Неплохую точность и хорошую сходимость с экспериментально определенной величиной

теплоты сгорания топлива имеет расчетный метод, использующий данные по химическому (элементному) составу топлива, и эмпирические формулы, отличающиеся коэффициентами и видом расчетного уравнения для различных классов органических соединений, вида и коэффициентов термодинамического уравнения сгорания, например, как использованный нами один из вариантов эмпирической формулы Д.И. Менделеева [14, 15]. Результаты расчетов химического состава и низшей теплоты сгорания триглицеридов ПМ и их окисленных дериватов приведены в таблице 2.

Как следует из строения и реакционной способности молекул триглицеридов ПМ в предлагаемой нами реакции окисления, а также данных, приведенных в таблице 2, с уменьшением содержания водорода в триглицериде и увеличением содержания кислорода в его окисленном производном теплота сгорания соответствующего деривата закономерно снижается, по сравнению с исходным соединением, на величину от 4,1-11,5% для дериватов олеиновой кислоты, и сопоставимых с ними дериватов линолевой кислоты (ди-, тетра- и гексаоксипроизводных). Если провести аналогичное сравнение для дериватов с еще большим содержанием кислорода или для оксипроизводных линоленовой кислоты, то эта

величина уменьшается на еще большее значение, по сравнению с соответствующим триглицеридом ВЖК, вплоть до 20,9%. Причем вклады от увеличения доли водорода и кислорода в результирующее значение величины  $Q_H$  хотя и симбатны, но неравноценны, поэтому общий ход зависимости теплоты сгорания оксипроизводных триглицеридов от содержания гидроксогрупп в их молекулах оказывается нелинейным (рис. 2).

С учетом полученных ранее расчетных значений  $Q_H$  для индивидуальных триглицеридов ВЖК и их дериватов, с учетом принятого состава модельного ПМ, а также принимая во внимание, что триглицериды пальмитиновой и стеариновой кислоты в этих условиях не окисляются, по формуле (2) можно рассчитать низшую теплоту сгорания исследуемых альтернативных топлив (модельного ПМ и модифицированного (окисленного) ПМ\*), которая составила, соответственно, 36895,24 и 33067,65 кДж/кг. Теперь по формуле (3) с учетом табличного значения  $Q_H$  (ДТ)=42620,00 кДж/кг [15] можно также рассчитать и теплоты сгорания соответствующих биодитов (ПМ:ДТ и ПМ\*:ДТ), экономически перспективных и нормируемых стандартами [10, 18] составов (5:95; 10:90; 25:75; 50:50; 75:25; 90:10). Результаты этих расчетов приведены в таблице 3.

Таблица 1

Нормированный жирнокислотный состав ПМ [23] и состав масла, принятый для расчета

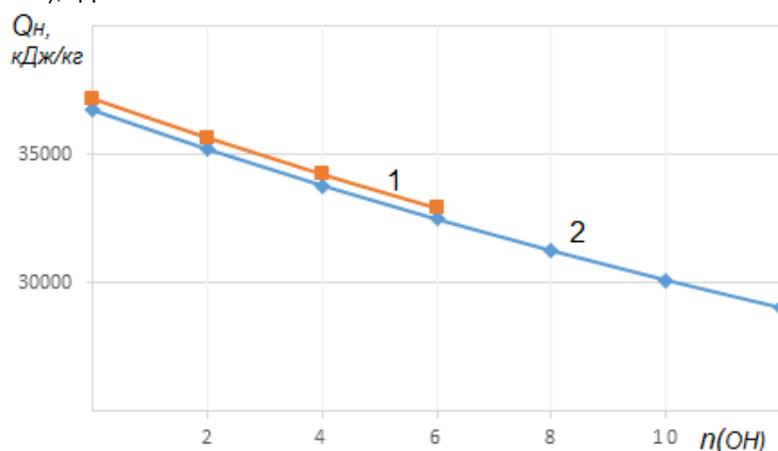
Название ВЖК*	Характеристика УВ-радикала*, $C_{n,m,l}$	Доля ВЖК в составе триглицеридов ПМ, % мас.
Нормированный состав		
Миристиновая (тетрадекановая)	$C_{14:0:0}$	До 0,2
Пальмитиновая (гексадекановая)	$C_{16:0:0}$	5,0-7,6
Пальмитолеиновая (гексадеценная)	$C_{16:1:9}$	До 0,3
Стеариновая (октадекановая)	$C_{18:0:0}$	2,7-6,5
Олеиновая (октадеценная)	$C_{18:1:9}$	14,0-39,4
Линолевая (октадекадиеновая)	$C_{18:2:(9,12)}$	48,3-77,0
Линоленовая (октадекатриеновая)	$C_{18:3:(9,12,15)}$	До 0,3
Арахидиновая (эйкозановая)	$C_{20:0:0}$	До 0,5
Гондоиновая (эйкозеновая)	$C_{20:1:11}$	До 0,3
Бегеновая (докозановая)	$C_{22:0:0}$	0,3-1,5
Эруковая (докозеновая)	$C_{22:1:13}$	0,2
Лигноцериновая (тетракозановая)	$C_{24:0:0}$	До 0,5
Состав, принятый для расчета		
Пальмитиновая (гексадекановая)	$C_{16:0:0}$	6,0
Стеариновая (октадекановая)	$C_{18:0:0}$	4,0
Олеиновая (октадеценная)	$C_{18:1:9}$	27,0
Линолевая (октадекадиеновая)	$C_{18:2:(9,12)}$	63,0

Примечание. \*ВЖК – высшая жирная кислота; УВ – углеводород(ный); n – число атомов углерода в УВ-радикале; m – количество двойных углерод-углеродных связей в УВ-радикале; l – положение кратной связи(ей) (номер углеродного атома в УВ-радикале от карбоновой связи).

**Результаты расчетов химического состава  
и низшей теплоты сгорания триглицеридов и их различных оксипроизводных**

Соединение ВЖК	Брутто-формула	$Q_n$ , кДж/кг
Триглицериды		
Пальмитиновая (гексадекановая)	$C_{51}H_{98}O_6$	36979,00
Стеариновая (октадекановая)	$C_{57}H_{110}O_6$	37620,12
Олеиновая (октадеценевая)	$C_{57}H_{104}O_6$	37174,82
Линолевая (октадекадиеновая)	$C_{57}H_{98}O_6$	36723,23
Оксисленные дериваты		
Диокситриглицерид олеиновой кислоты	$C_{57}H_{106}O_8$	35646,82
Тетраокситриглицерид олеиновой	$C_{57}H_{108}O_{10}$	34227,85
Гексаокситриглицерид олеиновой	$C_{57}H_{110}O_{12}$	32906,62
Диокситриглицерид линолевой кислоты	$C_{57}H_{100}O_8$	35201,92
Тетраокситриглицерид	$C_{57}H_{102}O_{10}$	33789,94
Гексаокситриглицерид	$C_{57}H_{104}O_{12}$	32475,73
Октаокситриглицерид	$C_{57}H_{106}O_{14}$	31249,62
Декаокситриглицерид	$C_{57}H_{108}O_{16}$	30102,98
Ундекаокситриглицерид	$C_{57}H_{110}O_{18}$	29028,33

Примечание. \*ВЖК – высшая жирная кислота; Мг – относительная молекулярная масса, г/моль;  $Q_n$  – низшая теплота сгорания (расчетная), кДж/кг



**Рис. 2. Зависимость низшей теплоты сгорания  
оксипроизводных олеиновой (1) и линолевой (2) кислот  
от количества гидроксигрупп в молекулах дериватов**

**Расчетная низшая теплота сгорания (кДж/кг) для различных альтернативных топлив (биодитов)**

Состав	Топливо (биодит)	ПМ:ДТ	ПМ*ДТ
0:100		42620,00	42620,00
5:95		42334	42142
10:90		42047	41665
20:80		41475	40710
25:75		41188	40232
50:50		39757	37844
75:25		38330	35456
80:90		38040	34978
95:5		37181	33546
100:0		36895,24	33067,65

Примечание. На сером фоне приведены составы биодита, нормируемые международным и национальным стандартами; теплоты сгорания биодитов, имеющих допускаемое снижение теплотворной способности, подчеркнуты.

Как следует из данных, приведенных в таблице 3, теплотворная способность модифицированного ПМ\* уступает чистому модельному ПМ на 10,3%, однако это уже лучше такого же показателя для индивидуального окисленного деривата олеиновой и тем более линолевой кислоты. Еще значительно по теплотворной способности уступают эти топлива и минеральному ДТ на 22,4% для ПМ\* и на 13,4% для ПМ соответственно, что неизбежно приведет к потере эффективной мощности ДВС при переводе его на эти альтернативные топлива (без корректировки цикловой порции). Этот факт согласуется и с данными, полученными ранее другими исследователями, для схожих альтернативных топлив на основе РМ [7-9, 11].

Однако если модифицированное (окисленное) ПМ\* применять в составе смесей с минеральным ДТ (биодиты), то снижение теплотворной способности на допускаемые 5-8% [1] будет наблюдаться у биодита ПМ:ДТ при составе 75:25, а у биодита на основе ПМ\* аналогичные характеристики будут наблюдаться у состава, близкого к 50:50.

Таким образом, обработка ПМ 1-5%-ным водным раствором  $KMnO_4$  в нейтральной или щелочной среде позволяет получить новый вид топлива – модифицированное ПМ (ПМ\*), которое вследствие образования соответствующих оскопрозводных триглицеридов ВЖК уже теряет способность к окислительной полимеризации, однако продукт имеет пониженную теплотворную способность по отношению к минеральному ДТ.

### Выводы

1. Оскопрозводные триглицериды высших жирных кислот (ВЖК) подсолнечного масла (ПМ) являются перспективными компонентами альтернативных топлив для ДВС сельхозтехники, однако их применение целесообразно в виде смесей с минеральным ДТ – биодитов, доля растительного компонента в которых может быть доведена до 50-75%.

2. Для расчета теплотворной способности альтернативных топлив из модифицированного (окисленного) ПМ предложен модельный состав, отвечающий требованиям нормативно-технических документов, представляющий смесь триглицеридов пальмитиновой ( $C_{16:0:0}$ ), стеариновой ( $C_{18:0:0}$ ), олеиновой ( $C_{18:1:9}$ ) и линолевой кислот ( $C_{18:2:(9,12)}$ ), в соотношении, % мас.: -6:4:27:63.

3. Расчетные значения низшей теплоты сгорания окисленных дериватов индивидуальных триглицеридов ПМ оказываются на 11,5-20,9% ниже аналогичных величин исходных веществ.

4. Альтернативное смесевое растительно-минеральное топливо – биодит, на основе модифицированного (окисленного) ПМ\* и минерального ДТ, состава 50:50, имеет низшую теплоту сгорания 37844,00 кДж/кг, что отвечает эксплуатационным требованиям и не требует корректировки цикловой порции.

### Библиографический список

1. Баширов, Р. М. Автотракторные двигатели: конструкция, основы теории и расчета: учебник для вузов / Р. М. Баширов. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 336 с. – Текст: непосредственный.

2. Минаков, И. А. Экономика отраслей АПК / И. А. Минаков. – Москва: АРГАМАК-МЕДИА, 2015. – 416 с. – Текст: непосредственный.

3. Приказ Минсельхоза РФ № 342 от 25.06.2007. Концепция развития аграрной науки и научного обеспечения АПК России на период до 2025 года. – URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=403386> (дата обращения: 02.03.2023 г.). – Текст: электронный.

4. Официальный сайт. Президент РФ. Указ № 666 от 04.11.2020. О сокращении выбросов парниковых газов. – URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45990> (дата обращения: 02.03.2023 г.). – Текст: электронный.

5. Использование природного газа в качестве моторного топлива для сельскохозяйственной техники / Г. С. Савельев, М. Н. Кочетков, Е. В. Овчинников, И. М. Коклин. – Текст: непосредственный // Транспорт на альтернативном топливе. – 2014. – № 1. – С. 40-52.

6. 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.

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

8. Метилвый эфир рапсового масла как дизельное топливо / В. А. Марков, С. А. Нагорнов, С. В. Романцова [и др.]. – Текст: непосредственный.

ный // Транспорт на альтернативном топливе. – 2017. – № 6. – С. 17-30.

9. Марков, В. А. Особенности применения метилового эфира рапсового масла в качестве топлива для дизелей / В. А. Марков, А. Ю. Шустер, С. Н. Девянин. – Текст: непосредственный // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия: Машиностроение. – 2010. – № 3. – С. 56-69.

10. ASTM D7467-20a. Standard Specification for Diesel Fuel Oil, Biodiesel Blend (B6 to B20).

11. Марков, В. А. Оптимизация состава смесей нефтяного дизельного топлива с растительными маслами / В. А. Марков, С. Н. Девянин, С. И. Каськов. – Текст: непосредственный // Известия вузов. Машиностроение. – 2016. – № 7. – С. 28-44.

12. 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.

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

14. Новоженев, В. А. Горение и взрыв: учебное пособие / В.А. Новоженев. – Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2009. – С. 45-49. – Текст: непосредственный.

15. Официальный сайт. Лаборатория процессов горения и динамики пожара. Расчет низшей теплоты сгорания по формуле Менделеева. – URL: <https://firecategory.ru/clients.php?id=10> (дата обращения: 02.03.2023 г.) – Текст: электронный.

16. Справочник по котельным установкам малой производительности / под редакцией К. Ф. Роддатиса. – Москва: Энергоатомиздат, 1989. – 488 с. – Текст: непосредственный.

17. ГОСТ 1129-2013. Масло подсолнечное. Технические условия. Приложение А. Жирнокислотный состав подсолнечного масла. – Текст: непосредственный.

18. ГОСТ 33131-2014. Смесей биодизельного топлива (B6-B20). Технические требования. – Текст: непосредственный.

## References

1. Bashirov R.M. Avtotraktornye dvigateli: konstruktssiia, osnovy teorii i rascheta: uchebnik dlia VUZov. – Sankt-Peterburg: Lan, 2022. – 336 s.

2. Minakov I.A. Ekonomika otraslei APK. – Moskva: Argamak-Media, 2015. – 416 s.

3. Prikaz Minselkhoza RF No. 342 ot 25.06.2007. Kontseptsiiia razvitiia agrarnoi nauki i nauchnogo obespecheniia APK Rossii na period do 2025 goda [Elektron. dan.]. – Rezhim dostupa: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=403386>. (02.03.2023 g.).

4. Ofitsialnyi sait. Prezident RF. Ukaz No. 666 ot 04.11.2020. O sokrashchenii vybrosov parnikovyykh gazov. [Elektron. dan.]. – Rezhim dostupa: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45990> (02.03.2023 g.).

5. Savelev G.S., Kochetkov M.N., Ovchinnikov E.V., Koklin I.M. Ispolzovanie prirodnogo gaza v kachestve motornogo topliva dlia selskokhoziaistvennoi tekhniki // Transport na alternativnom toplive. – 2014. – No. 1. – S. 40-52.

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

7. Ukhanov A.P., Ukhanov D.A., Shemenev D.S. Dizelnoe smesevye toplivo. – Penza: RIO PGSKhA, 2012. – 148 s.

8. Markov V.A., Nagornov S.A., Romantsova S.V., Neverova V.V., Sa Boven. Metilovyi efir rapsovogo masla kak dizelnoe toplivo // Transport na alternativnom toplive. – 2017. – No. 6. – S. 17-30.

9. Markov V.A., Shuster A.I., Devianin S.N. Osobennosti primeneniia metilovogo efira rapsovogo masla v kachestve topliva dlia dizelei // Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser.: Mashinostroenie. – 2010. – No. 3. – S. 56-69.

10. ASTM D7467-20a. Standard Specification for Diesel Fuel Oil, Biodiesel Blend (B6 to B20).

11. Markov V.A., Devianin S.N., Kaskov S.I. Optimizatsiia sostava smesei nefianogo dizelnogo topliva s rastitelnymi maslami // Izvestiia VUZov. Mashinostroenie. – 2016. – No. 7. – S. 28-44.

12. Krivenko D.A., Ishkov A.V. Smesevye mineralno-rastitelnoe toplivo dlia DVS selskokhoziaistvennykh mashin na osnove mestnogo syr'ia i tekhnologii ego polucheniia // Agrarnaia nauka – selskomu khoziaistvu: sbornik materialov: v 2 kn. / XVII Mezhdunarodnaia nauchno-prakticheskaia

konferentsiia (9-10 fevralia 2022 g.). – Barnaul: RIO Altaiskogo GAU, 2022. – Kn. 2. – S. 49-52.

13. Krivenko D.A. Smesevoe toplivo dlia dvigatelei vnutrennego sgoraniia selskokhoziaistvennykh mashin // Vestnik molodezhnoi nauki AltGAU. – 2022. – No. 2. – S. 57-61.

14. Novozhenov V.A. Gorenje i vzryv: uchebnoe posobie. – Barnaul: Izd-vo Alt. un-ta, 2009. – S. 45-49.

15. Ofitsialnyi sait. Laboratoriia protsessov gorenii i dinamiki pozhara. Raschet niszhei teploty

sgoraniia po formule Mendeleeva. [Elektron. dan.]. – Rezhim dostupa: <https://firecategory.ru/clients.php?id=10>. (02.03.2023 g.).

16. Spravochnik po kotelnym ustanovkam maloi proizvoditelnosti / pod red. K.F. Roddatisa. – Moskva: Energoatomizdat, 1989. – 488 s.

17. GOST 1129-2013. Maslo podsolnechnoe. Tekhnicheskie usloviia. Prilozhenie A. Zhirno-kislotnyi sostav podsolnechnogo masla.

18. GOST 33131-2014. Smesi biodizelnogo topliva (B6-B20). Tekhnicheskie trebovaniia.



УДК 361.362

DOI: 10.53083/1996-4277-2023-221-3-94-98

М.Е. Микитюк, Н.И. Стрикунов, С.В. Леканов  
M.E. Mikityuk, N.I. Strikunov, S.V. Lekanov

## ПАРАМЕТРЫ ГРАВИТАЦИОННОГО СЕПАРИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА К ЗАГРУЗОЧНОЙ НОРИИ

### PARAMETERS OF THE GRAVITATIONAL SEPARATING DEVICE TO GRAIN ELEVATOR

**Ключевые слова:** зерновая смесь, крупные примеси, грубые примеси, камнеотборник, прутковая решетка, винтовая поверхность, нория, самотечная труба, гравитационный сепаратор.

Одним из путей повышения производительности технологических линий мехтоков является совершенствование технологии и средств их механизации, причем на каждой технологической операции. Важнейшей технологической операцией на поточных линиях является предварительная очистка. Предварительную очистку применяют для обработки свежесобранного зерна. Известно, что в бункер комбайна вместе с зерном поступают и различного рода примеси: семена сорняков, крупные частицы соломы; комки почвы и мелкие камни. Поэтому разработка устройства для выделения грубых примесей является актуальной задачей. Современные сепараторы-камнеотборники в достаточной степени справляются с этой задачей. Эти устройства работают в составе технологических схем зерноочистительных машин и являются неотъемлемой их частью (МПО-50, МПО-50С, МПР-50С и др.), либо работают как отдельные машины с применением различных способов сепарирования. В данной работе предложено одно из устройств для выделения крупных и грубых примесей. Основу устройства составляет прутковая комбинированная сепарирующая решетка, имеющая наклонную и винтовую части. Проведено обоснование параметров предложенного гравитационного устройства. Теоретические исследования показывают, что такое устройство работоспособно как отдельная машина в случае применения его в верхней головке загрузочной нории, а также если оно будет

включено в технологическую схему ворохоочистителей. Установлено, что на характер движения грубых частиц по сепарирующей поверхности предлагаемого устройства оказывают влияние конструктивные и режимные параметры. Экспериментальное подтверждение теоретических предпосылок будет проведено в лабораторных условиях на специально разработанной установке, включающей норию, сепарирующее устройство и специальные емкости. Внедрено в технологической схеме мобильного зерноочистительного агрегата.

**Keywords:** grain mix, large impurities, coarse impurities, stone separator, bar grate, helical surface, bucket elevator, gravity pipe, gravity separator.

One of the ways to increase the productivity of technological lines of mechanized threshing floors is to improve the technology and means of their mechanization, moreover, at each technological operation. The most important technological operation on production lines is pre-cleaning. Pre-cleaning is used to process freshly harvested grain. It is known that various kinds of impurities enter the combine bunker along with the grain: weed seeds, large particles of straw; soil clods and small stones. Therefore, the development of a device for separating coarse impurities is an urgent task. Modern stone separators adequately cope with this task. These devices work as part of the technological schemes of grain cleaning machines and are their integral part (MPO-50, MPO-50S, MPR-50S, etc.), or they work as separate machines using various separation methods. In this paper, one of the devices for separating large and coarse impurities is proposed. The basis of the device is a bar combined separating grate which has an inclined and a