

## **Обоснование применения культуры ятрофы как материала для получения биотоплива\***

**В. И. Пахомов, М. Н. Московский, Хоанг Нгия Дат**

*Рассматривается возможность использования культуры ятрофы в качестве сырья для биотоплива. Представлено описание данной культуры, ее основные характеристики. Изучены технологические свойства семян, характеризующие последующее качество масла. Представлены основные агрономические свойства при выращивании культуры ятрофы, ареал ее произрастания. Проведен химический анализ полученного масла ятрофы и последующего переработанного биотоплива. Проведен сравнительный анализ с показателями дизельного топлива. Предложена технология производства биотоплива на основе ятрофы. Определены основные технологические процессы и средства их реализации в технических решениях. Были смешаны дизельное топливо и масло ятрофы в различных процентных соотношениях. Произведен сравнительный анализ различных видов смешанного топлива по основным характеристикам и выявлено оптимальное соотношение масла ятрофы к дизелю. Приведен сравнительный экономический анализ затрат на производство различных видов сырья. Разработана схема получения и использования биотоплива.*

**Ключевые слова:** ятрофа, биотопливо, масло, энергетика, технология производства биотоплива, биодизель, смеситель.

**Введение.** На сегодняшний день применение таких популярных «биодизельных» культур, как рапс, соя, пальма, связано с некоторыми проблемами (долгосрочного использования в перспективе как сырья, проблема поставки на рынок с растущим спросом потребителя) [1–6]. На этом фоне найдена новая биодизельная культура — ятрофа. Ятрофа может расти на бедных сухих почвах и имеет высокий выход масла из семян в сравнении с основными биодизельными культурами соей и рапсом [7].

Ятрофа (лат. *Jatropha*) — род семейства Молочайных. Состоит примерно из 150–175 видов суккулентов, кустарников и деревьев. Естественным ареалом ятрофы является Центральная Америка, но сегодня ятрофа произрастает во многих тропических и субтропических районах, в том числе в Индии, Африке и Северной Америке [1,7].

Ятрофа устойчива к засухе и вредителям, при этом её семена содержат до 40% масла. Переработанное масло семян ятрофы может использоваться в качестве топлива в обычных дизельных двигателях, в то время как остатки могут быть обработаны в биомассу. Многие страны, в том числе Индия и Китай, начали широкомасштабные посадки ятрофы (900 000 гектаров на 2008 год с планами посадки на 12,8 миллиона гектаров на 2015 год). Во Вьетнаме планируют посадки на 300 000 гектаров на 2015 год.

Целью исследования является изучение технологических свойств семян ятрофы в качестве сырья для биотоплива. Нами были изучены семена ятрофы из Республики Вьетнам. Плоды ятрофы яйцевидной формы, незрелые зеленые, при созревании наблюдается пожелтение кожи. Семена гладкие, длина около 18 мм, ширина 10 мм, вес 0,5–0,7 г/семян. Семена ятрофы состоят из трех основных частей: оболочки, зародыш и эндосперма. Оболочка черная или серая, хрупкая, твердая, состоит в основном из целлюлозы и гемицеллюлозы.

Особенности строения плодов и семян ятрофы определяют их механические свойства, что, в свою очередь, влияет на технологию извлечения масла. Механические свойства семян характеризуются разрывной нагрузкой порядка  $67,72^{+9,03}$  Н, твердостью семени —  $38^{+5,59}$  Н/мм [7]. Семена ятрофы относительно мягкие по сравнению с другими культурами. Например, у семян рапса твердость — 52,6 Н / мм, подсолнечника — 35,3–65,3 Н / мм.

\* Работа выполнена в рамках инициативной НИР.

Был проведен химический анализ семян на базе лицензированной лаборатории ГНУ СКНИИМЭСХ, г. Зерноград. Анализ основных технологических параметров масла как биотоплива представлен в табл. 1. Оценка химического состава показала: протеин — 18%, жиры — 38%, углеводы — 17%, целлюлоза — 15,50%, минеральных веществ — 5,30%, воды — 6,20%. Содержание питательных веществ в сухом остатке: протеин от 25,87 до 29,91%, волокна от 21,41 до 29,77%, зола от 4,86 до 5,11%, жир от 28,61 до 31,67%, железо — 177,94 мг/кг. Был проведен экспериментальный отжим масла из 1 кг ятрофы в лабораторных условиях. На выходе производительность масла достигла 30–45%.

**Таблица 1**

**Результаты анализа масла ятрофы  
(Данные лаборатории ГНУ СКНИИМЭСХ г. Зерноград)**

Параметры	Единицы измерения	Метод ASTMD	Результат
Облигационный	—	Визуальный	Ярко-желтый
Кинематическая вязкость в 40°C	мм <sup>2</sup> /с	445-05	34,35
Кислотное число	-	664-06	21,78
Содержание углерода остаток		524-06	0,29
Температура вспышки в закрытом тигле	°C	92-05	101
Плотность в 15°C	кг/л	1298-99	0,9180
Водосодержание	%	95-05	
Сера	%	4294-05	0,033
Ясень	%	874-06	0,00
Температура застывания	°C	97-05	
Медная пластина коррозии	-	130-05	1а
Коксовое число (зольность)	мг/л	2276-05	0,05
Термическая обработка	кал/г	240-02	9,432
Температура кипения	°C	-	316
Содержание фосфора	мг/кг	DIN EN 14107	13
Mg+Ca	мг/кг	DIN EN 14 538	9,9
Устойчивость к окислению 110°C	ч	DIN EN 14112	4,15

Для сравнения основных топливных параметров в качестве аналога было выбрано дизельное топливо, как наиболее распространенное горючее для сельхозтехники. Сравнительный анализ дизельного топлива и масла ятрофы по топливно-технологическим параметрам представлен в табл. 2.

Кинематическая вязкость при 40°C у масла ятрофы равна 34,35 мм<sup>2</sup>/с, кислотное число равно 21,78. Данные недостатки решаются в процессе переэтерификации. Масло ятрофы имеет 0,033% серы, что намного меньше, чем у дизельного топлива, следовательно, сокращаются вредные выбросы в атмосферу. Цетановое число не различается с дизельным топливом. Температура вспышки 101°C, поэтому степень безопасности выше.

Удельная теплота сгорания масла ятрофы меньше на 10% по сравнению с дизельным топливом. Показатели плотности масла ятрофы превышают аналогичные показатели дизельного топлива более 10%. Отношение удельной теплоты сгорания масла ятрофы к одному литру его объема приблизительно эквивалентно аналогичному показателю дизельного топлива.

Таблица 2

**Сравнительный анализ свойства масла ятрофы и дизельного топлива**

№	Параметр	Единицы измерения	Масло ятрофы	Дизельное топливо
1	Плотность в 15°C	г/мл	0,9180	0,83 – 0,86
2	Кинематическая вязкость в 40°C	мм <sup>2</sup> /с	34,35	2 – 4,5
3	Сера	%	0,033	0,43
4	Цетановое число (min)	-	46 – 52	46
5	Температура вспышки	°C	101	55
6	Удельная теплота сгорания	Ккал/кг	9.432	10.478

Предложена технология производства и дальнейшего использования биотоплива на основе ятрофы, с внедрением в МТА [2, 8–10] (рис. 1).

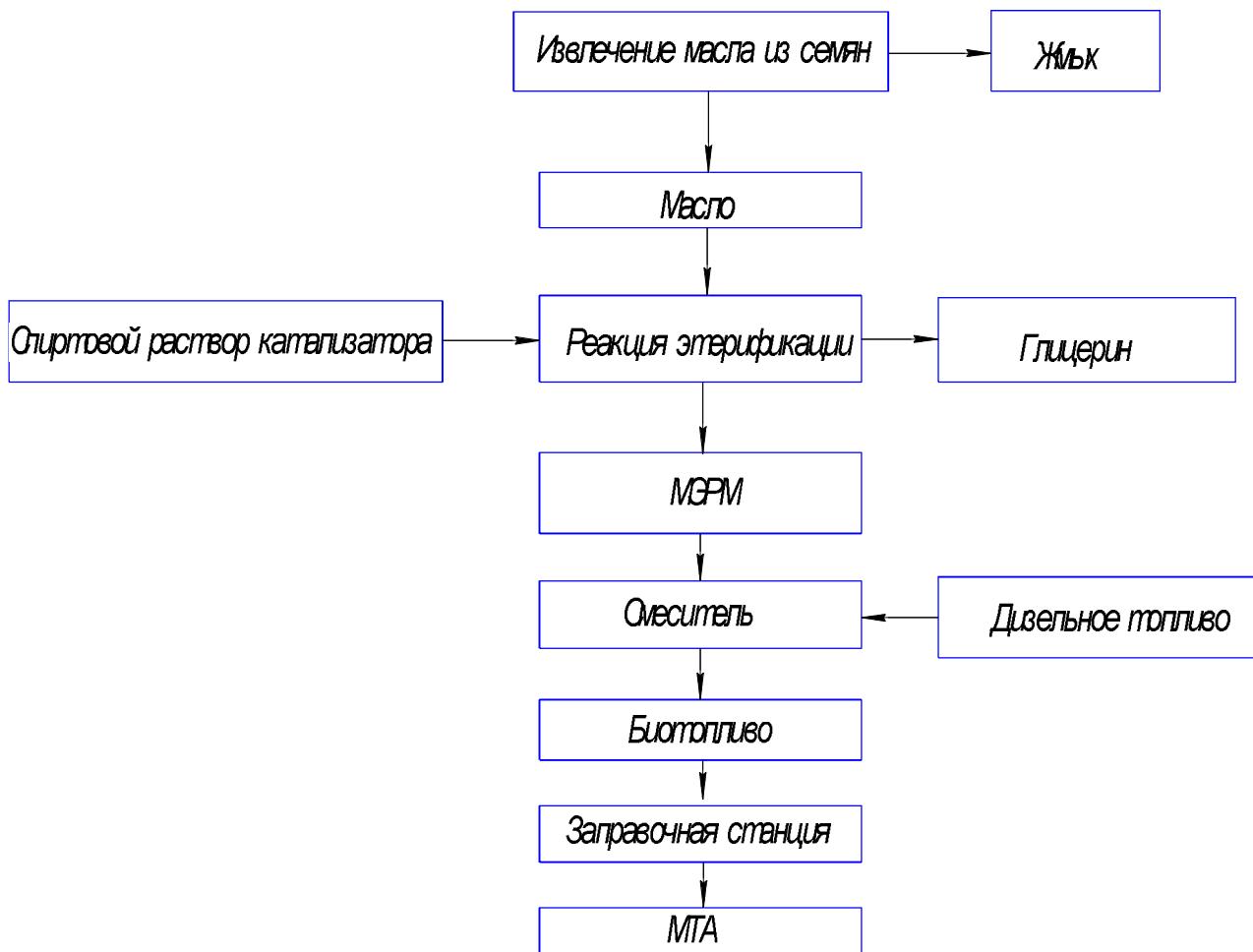


Рис. 1. Схема получения и использования биотоплива

В связи с тем, что выход масла при отжиме ятрофы относительно низкий, были исследованы различные варианты смесей масла ятрофы и дизельного топлива в различных процентных соотношениях. На лабораторном стенде (на базе кафедры «ТиОППАПК» Донского государственного технического университета) были проведены стендовые испытания по замеру мощности, энергоемкости и момента вращения от оборотов дизельного двигателя при различных видах топлива (рис. 3–5). Сравнительный анализ характеристик различных видов топлива представлен в табл. 3.



Рис. 2. Лабораторный стенд

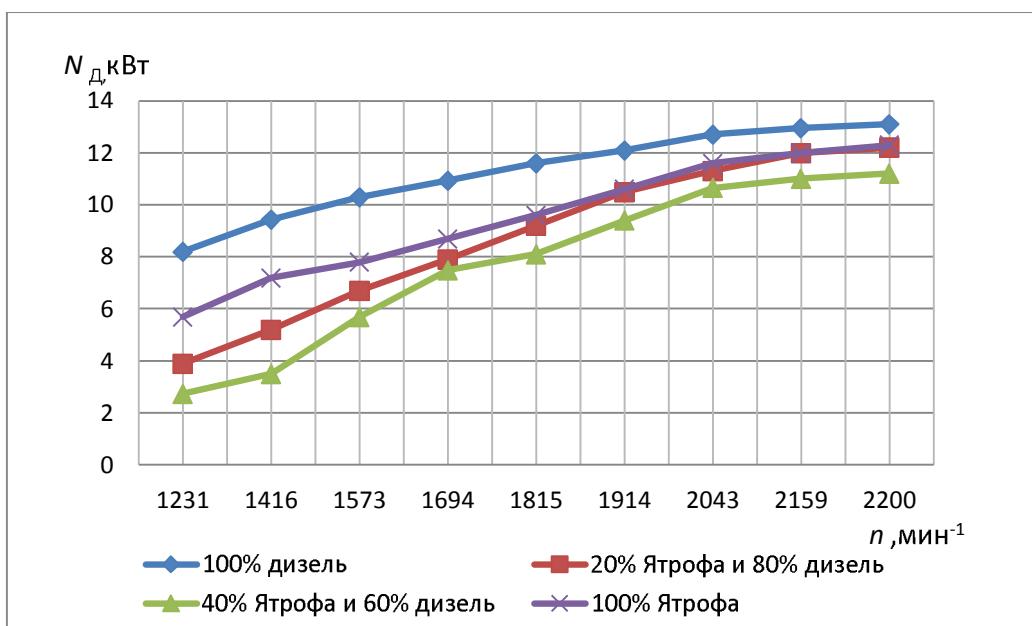


Рис. 3. Сравнительный анализ зависимости мощности  $N_d$  от оборотов  $n$  при различных видах топлива

Показатели при использовании топлива с 20% масла ятрофы и 80% дизеля несущественно отличаются от показателей 100% дизельного топлива.

Средняя стоимость 1 тонны семян ятрофы на мировом рынке составляет 280 долл. США. При выходе 40% масла из семени затраты в расчете на 1л этанола из ятрофы составят 0,84 долл. США. Основные производственные затраты на производство биотоплива из различных сельхозкультур представлены в табл. 4.

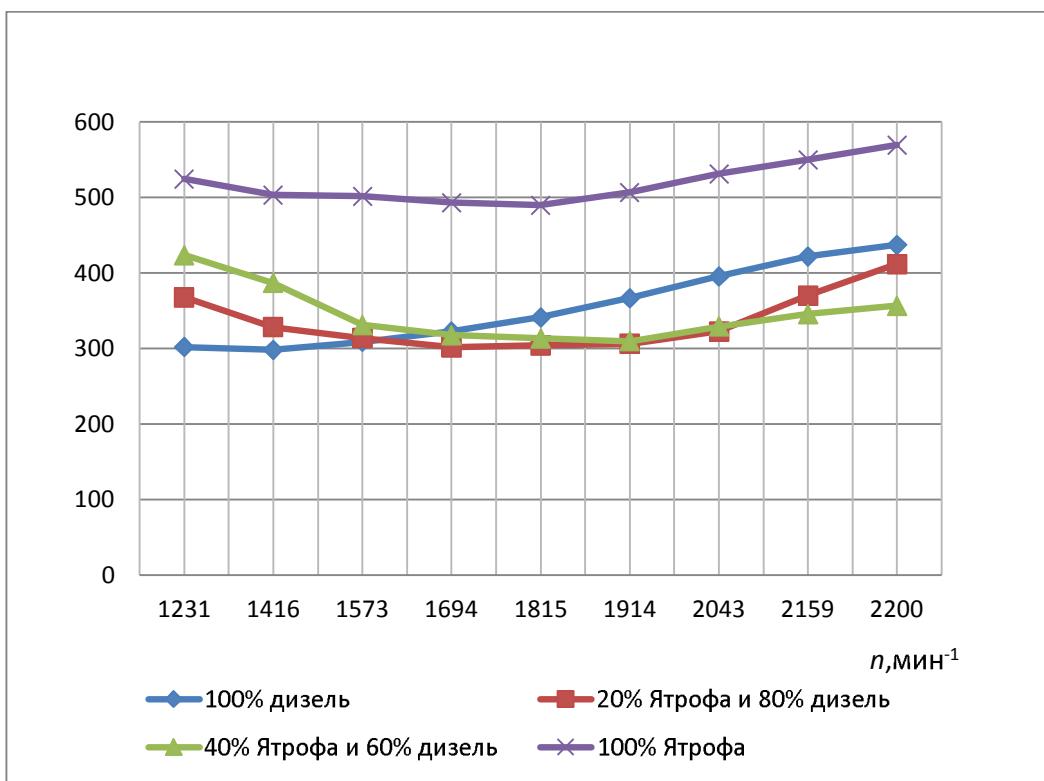


Рис. 4. Сравнительный анализ зависимости энергоемкости Гд от оборотов  $n$  дизельного двигателя при различных видах топлива

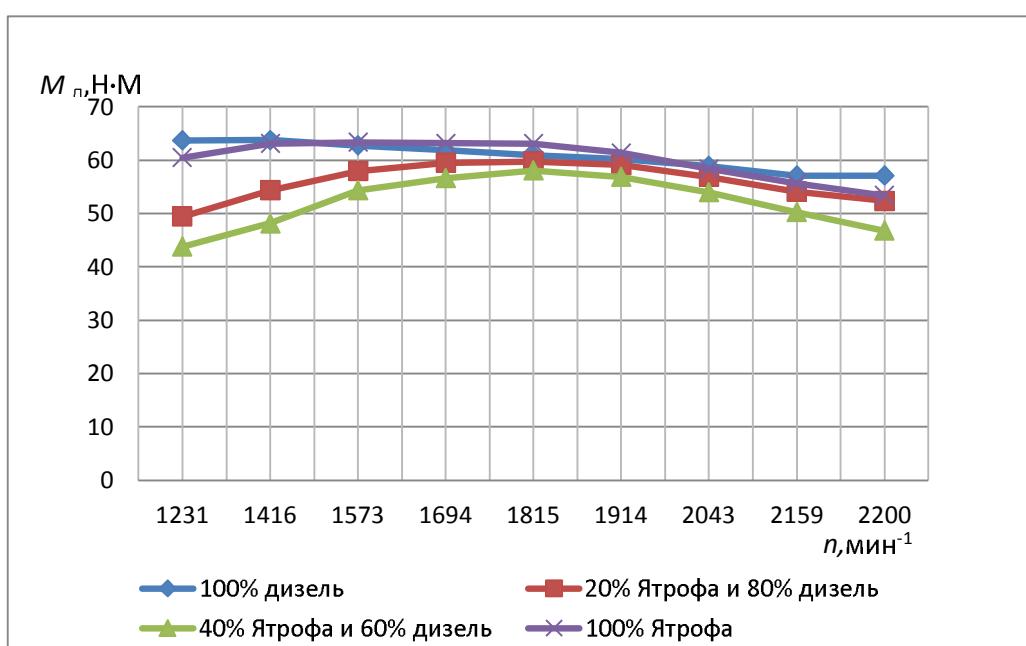


Рис. 5. Сравнительный анализ зависимости момента вращения  $M_d$  от оборотов  $n$  дизельного двигателя при различных видах топлива

Таблица 3

## Сводные характеристики различных смесей

Тип топлива	$N_{\text{д}max}$ , кВт/мин <sup>-1</sup>	$M_{\text{д}max}$ , Н.м/мин <sup>-1</sup>	$\Gamma_{\text{д}min}$ , (Г/кВт.ч)/мин <sup>-1</sup>
100% Дизель	13,1/2200	63,8/1416	298,1/1416
20% Ятрофа и 80% дизель	12,2/2200	59,8/1464	301,8/1260
40% Ятрофа и 60% дизель	11,2/2200	58/1338	309,6/1573
100% Ятрофа	12,3/2200	63,4/1174	490/1447

Таблица 4

## Затраты на производство этанола из различных видов сырья, долл. США

Вид сырья	Затраты в расчете на 1л		Всего в расчете на 1л
	Стоимость сырья	Переработка сырья	
Кукуруза	0,13	0,14	0,27
Сахарный тростник	0,39	0,24	0,63
Сахарная свекла	0,42	0,20	0,62
Меласса	0,24	0,10	0,34
Сахар-сырец	0,83	0,10	0,93
Сахар рафинированный	0,95	0,10	1,05
Ятрофа	0,71	0,13	0,84

**Выходы.** Анализ основных энергетических характеристик выявил, что мощность  $M_d$  различных типов топлива на основе ятрофы и дизеля при рабочих частотах вращения двигателя (1800–2200 мин<sup>-1</sup>) статистически не различима. Топливо с пропорциональным отношением 20% масла ятрофы и 80% дизеля по суммарным показателям качества является оптимальным. Сравнительный экономический анализ по затратам на производство показал, что культура ятрофа является перспективным сырьем для получения биотоплива.

## Библиографический список

1. Девягин, С. Н. Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей / С. Н. Девягин, В. А Марков, В. Г. Семенов. — Москва : Изд. центр ФГОУ ВПО МГАУ, 2008. — 339 с.
2. Федоренко, В. Ф. Состояние и развитие производства биотоплива: научный аналитический обзор / В. Ф. Федоренко. — Москва : ФГНУ «Росинформагротех», 2007. — 131 с.
3. Нурутдинова, И. Н. Статистическая обработка результатов эксперимента / И. Н. Нурутдинова, Д. А. Пожарский. — Ростов-на-Дону : Изд. центр Дон. гос. техн. ун-та, 2011. — 28 с.
4. Лачуга, Ю. Ф. Сельское хозяйство: от потребления энергии к ее производству / Ю. Ф. Лачуга, В. И. Пахомов // Техника и оборудование для села. — 2010. — № 1. — С. 8–12.

5. Богданович, В. П. Растительное масло — сырье для моторного топлива / В. П. Богданович, А. В. Громаков, С. И. Бырько // Сельский механизатор. — 2010. — № 11. — С. 30.
6. Jatropha World [Электронный ресурс] / Jatropha Plantation. — Режим доступа :<http://www.jatrophabiodiesel.org/> (дата обращения: 25.10.2014).
7. Кочетков, М. Н. Разработка технических средств обеспечения энергоавтономности сельскохозяйственного предприятия при замещении дизельного топлива рапсовым маслом: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Кочетков Максим Николаевич // ГНУ ВИМ Россельхозакадемии. — Москва, 2010. — 20 с.
8. Магарил, Е. Р. Влияние качества моторных топлив на эксплуатационные характеристики автомобилей: монография / Е. Р. Магарил. — Москва : КДУ, 2008. — 163 с.
9. Малашенков, К. А. Экономическое обоснование применения альтернативного топлива, используемого в сельском хозяйстве для машинно-тракторных агрегатов: автореф. дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Малашенков Константин Александрович // Московский ГАУ им. В. П. Горячина. — Москва , 2000. — 20 с.
10. Семенов, В. Г. Повышение показателей дизелей при работе на биодизельном топливе путем улучшения смесеобразования / В. Г. Семенов, А. И. Атамась, И. П. Васильев // Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей : материалы XI-й междунар. науч.-практ. конференции (г. Владимир, 27-29 мая 2008 г.). — Владимир, 2008. — С. 227–231.

Материал поступил в редакцию 29.10.2014.

## **References**

1. Devyanin, S. N., Markov, V. A., Semenov, V. G. Rastitel'nye masla i topliva na ikh osnove dlya dizel'nykh dvigateley. [Vegetable oils and fuels based on their diesel engines.] Moscow : FGOU VPO MGAU Publ. Center, 2008, 339 p. (in Russian).
2. Fedorenko, V. F. Sostoyanie i razvitiye proizvodstva biotopliva: nauchnyy analiticheskiy obzor. [Status and development of biofuel production: scientific review.] Moscow : FGNU «Rosinformagrotekh », 2007, 131 p. (in Russian).
3. Nurutdinova, I. N., Pozharskiy, D. A. Statisticheskaya obrabotka rezul'tatov eksperimenta. [Statistical analysis of the experimental results.] Rostov-on-Don : DSTU Publ. Centre, 2011, 28 p. (in Russian).
4. Lachuga, Y. F., Pakhomov, V. I. Sel'skoe khozyaystvo: ot potrebleniya energii k ee proizvodstvu. [Agriculture: from energy consumption to its production.] Tekhnika i oborudovanie dlya sela, 2010, no. 1, pp. 8–12 (in Russian).
5. Bogdanovich, V. P., Gromakov, A. V., Byrko, S. I. Rastitel'noe maslo — syr'ye dlya motornogo topliva. [Vegetable oil is the raw material for vehicle fuel.] Sel'skiy mekhanizator, 2010, no. 11, p. 30 (in Russian).
6. Jatropha World / Jatropha Plantation. — <http://www.jatrophabiodiesel.org/>.
7. Kochetkov, M. N. Razrabotka tekhnicheskikh sredstv obespecheniya energoavtonomnosti sel'skokhozyaystvennogo predpriyatiya pri zameshchenii dizel'nogo topliva rapsovym maslom: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01 [Development of technical means to ensure farm energy self-sufficiency under substituting diesel fuel for rapeseed oil: Dr. tech.sci.diss., author's abstract.] GNU VIM Rossel'khozakademii, Moscow, 2010, 20 p. (in Russian).
8. Magaril, E. R. Vliyanie kachestva motornykh topliv na ekspluatatsionnye kharakteristiki avtomobiley: monografiya. [Effect of the motor fuels quality on car performance characteristics: monograph.] Moscow : KDU, 2008, 163 p. (in Russian).
9. Malashenkov, K. A. Ekonomicheskoe obosnovanie primeneniya al'ternativnogo topliva, ispol'zuemogo v sel'skom khozyaystve dlya mashinno-traktornykh agregatov: avtoref. dis. ... kand. ekon. nauk:

08.00.05. [Economic rationale for application of alternative fuels used in agriculture for tractor units: Cand. econ.sci.diss., author's abstract.] Moskovskiy GAU im. V. P. Goryachkina. Moscow, 2000, 20 p. (in Russian).

10. Semenov, V. G., Atamas, A. I., Vasilyev, I. P. Povyshenie pokazateley dizeley pri rabote na biodizel'nom toplive putem uluchsheniya smeseobrazovaniya. [Improving the performance of diesel engines when operating on biodiesel through improved carburetion.] Fundamental'nye i prikladnye problemy sovershenstvovaniya porshnevykh dvigateley: materialy XI-y mezhdunar. nauch.-prakt. konferentsii (g. Vladimir, 27-29 maya 2008 g.). [Fundamental and applied problems of piston engines perfection: Proc. XIth Int. Sci.-Pract. Conf. (Vladimir, 27-29 May, 2008). Vladimir, 2008, pp. 227–231 (in Russian)].

## **RATIONALE FOR APPLYING JATROPHA CULTURE AS BIOFUEL MATERIAL \***

**V. I. Pakhomov, M. N. Moskovskiy, Hoang Nghia Dat**

*The applicability of the jatropha culture as a biofuel material is considered. The description of the culture and its main characteristics are presented. The seed technological properties characterizing the subsequent oil quality are studied. The fundamental agronomical properties under growing the jatropha culture, the area of its growing are described. A chemical analysis of the produced jatropha oil and the subsequent processed biofuel is carried out. A comparative analysis with the diesel indices is conducted. The technology of the biofuel production based on jatropha is proposed. The basic technological processes and their implementers in the engineering solutions are determined. Diesel fuel oil and jatropha oil were mixed in various percentage ratings. A comparative analysis of various types of the mixed fuel on the main characteristics is carried out; and the best mixture ratio of the jatropha oil to the diesel is specified. A comparative economic analysis of the production costs for various kinds of raw materials is conducted. A scheme of the biofuel generation and application is developed.*

**Keywords:** jatropha, biofuel, oil, power industry, biofuel production technology, biodiesel, mixer.

---

\* The research is done within the frame of the independent R&D.