

Научная статья

УДК 629.33.02.004.067:621.895

DOI: 10.55170/1997-3225-2025-10-4-75-80

**КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ КАК ОБОБЩАЮЩИЙ ПАРАМЕТР
ЭФФЕКТИВНОСТИ ГОРЕНИЯ ЛУЗГИ КЛЕЩЕВИНЫ В ТОПКЕ КОТЛА****Николай Иванович Стручаев¹, Андрей Борисович Чебанов², Светлана Викторовна Адамова³,
Константин Николаевич Стручаев⁴, Дмитрий Александрович Милько⁵**^{1, 2, 3, 4, 5} Мелитопольский государственный университет, Мелитополь, Россия¹ takaytokey@mail.ru² chebanov-ab@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8457-0574>³ adamova164@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4857-4524>⁴ struchaevkonstantin@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-4130-8956>⁵ milkodmitry@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0991-1930>

Резюме. Цель исследований – определить коэффициенты теплопроводности лузги клещевины как обобщающего параметра для использования при расчетах условия устойчивого и эффективного горения лузги клещевины в топке котла, для обеспечения тепловых процессов в технологической линии получения касторового масла из семян клещевины. Лузга клещевины (17-22 % от массы семян) наряду с ядрами является основными составными частями семян клещевины. Она содержит клетчатку, которая состоит в основном из целлюлозы, гемицеллюлозы, лигнина и может использоваться, как топливо, для котлов. Лузга клещевины обладает низшей теплотой сгорания $Q_{нр} = 12,4-16,8$ МДж/кг. Поэтому исследование корреляции коэффициента теплопроводности лузги клещевины с эффективностью горения для обеспечения тепловых процессов является актуальной задачей. Работа посвящена исследованию путей повышения эффективности горения лузги клещевины для обеспечения тепловых процессов в технологической линии получения касторового масла из семян клещевины. Исследования проводились на кафедре электроэнергетики имени профессора И.П. Назаренко ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет» (г. Мелитополь) в период 2023-2025 гг. При проведении экспериментальных исследований использовались численные и статистические методы обработки экспериментальных данных. Доказана возможность использования коэффициента теплопроводности лузги клещевины как обобщающего параметра контроля эффективности её горения. Обоснованы параметры, влияющие на коэффициент теплопроводности λ (Вт/(м·К)) лузги клещевины такие как, влажность W (%), насыпная плотность $\rho_{н.п.}$ (кг/м³) и пористость $P_{п.к.}$ (%). Получены графические зависимости и эмпирические уравнения регрессии для определения коэффициента теплопроводности лузги клещевины с учетом указанных параметров. Установлено, что процесс горения происходит наиболее эффективно при коэффициенте теплопроводности лузги клещевины равном 0,05-0,09 Вт/(м·К), влажности – 6-9%, плотности равной 100-120 (кг/м³) при слоевом горении, и пористости – 40-50%.

Ключевые слова: лузга клещевины, коэффициент теплопроводности, эффективность горения, тепловые процессы

Финансирование: Исследования выполнены в соответствии с государственным заданием в сфере научной деятельности в рамках базовой части (фундаментальная наука) по научному проекту № FRRS-2023-0023 «Разработка технологии, экспериментального оборудования технологической линии глубокой переработки семян клещевины в касторовое масло».

Для цитирования: Стручаев Н. И., Чебанов А. Б., Адамова С. В., Стручаев К. Н., Милько Д. А. Коэффициент теплопроводности как обобщающий параметр эффективности горения лузги клещевины в топке котла // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2025. Т. 10, № 4. С. 75-80. DOI: 10.55170/1997-3225-2025-10-4-75-80

Original article

**COEFFICIENT OF THERMAL CONDUCTIVITY AS A GENERALIZING EFFICIENCY PARAMETER
OF CASTOR OIL PLANT HUSK BURNING IN THE FURNACE****Nikolay I. Struchayev¹, Andrey B. Chebanov², Svetlana V. Adamova³, Konstantin N. Struchayev⁴, Dmitry A. Milko⁵**^{1, 2, 3, 4, 5} Melitopol State University, Melitopol, Russia¹ takaytokey@mail.ru² chebanov-ab@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8457-0574>³ adamova164@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4857-4524>⁴ struchaevkonstantin@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-4130-8956>⁵ milkodmitry@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0991-1930>

Abstract. The purpose of the research is to determine the thermal conductivity coefficients of castor oil plant husk as a generalizing parameter for use in calculating the conditions for stable and efficient burning of castor oil plant husk in the furnace to ensure thermal processes in the production line for producing castor oil from castor oil plant seeds. Castor oil plant husk (17-22% of the seed weight) along with kernels are the main components of castor oil plant seeds. It contains fiber, which consists mainly of cellulose, hemicellulose, lignin and can be used as fuel for boilers. Castor oil plant husk has a net calorific value of $Q_{нр} = 12.4-16.8$ MJ/kg. Therefore, studying the correlation between the thermal conductivity of castor oil plant husk and burning efficiency for thermal processes is an urgent task. This work explores ways to improve the burning efficiency of castor oil plant husk to support thermal processes in a production line for producing castor oil from castor oil plant seeds. The studies were conducted at the Department of Electric Power Engineering named after Professor I.P. Nazarenko, Melitopol State University (Melitopol) in the period 2023-2025. In the experimental studies, numerical and statistical methods of processing experimental data were used. The possibility of using the thermal conductivity coefficient of castor oil plant husk as a generalizing parameter for monitoring the efficiency of its burning has been proved. The parameters influencing the thermal conductivity coefficient λ (W/(m·K)) of castor oil plant husk such as moisture W (%), bulk density $\rho_{b.d.}$ (kg/m³) and porosity $P_{h.c.}$ (%) were substantiated. Graphical dependencies and empirical regression equations were obtained to determine the thermal conductivity coefficient of castor oil plant husks, taking into account the specified parameters. It was found that burning is most efficient with a thermal conductivity coefficient of 0.05-0.09 W/(m·K), moisture content of 6-9%, density of 100-120 (kg/m³) for layer burning, and porosity of 40-50%.

Keywords: castor husk, thermal conductivity coefficient, combustion efficiency, thermal processes.

Acknowledgements: The research was carried out in accordance with the state assignment in the field of scientific activity within the framework of the basic part (fundamental science) under the scientific project № FRRS-2023-0023 "Development of technology, experimental equipment for the technological line of deep processing of castor seeds into castor oil".

For citation: Struchaeв, N. I., Chebanov, A. B., Adamova, S. V., Struchaeв, K. N. & Milko, D. A. (2025). Coefficient of thermal conductivity as a generalizing efficiency parameter castor oil plant husk burning in the furnace. *Izvestija Samarskoi gosudarstvennoi selskokhozjaistvennoi akademii (Bulletin Samara State Agricultural Academy)*, 10, 4, 75-80. (In Russian). DOI: [10.55170/1997-3225-2025-10-4-75-80](https://doi.org/10.55170/1997-3225-2025-10-4-75-80)

Отходы переработки масличных культур находят все большее применение как альтернативное топливо с «нулевым» балансом углекислого газа (поглощение-выбросы). Знаменитая надпись: «Zero CO₂» немного лукавая. Тут, необходимо пояснение: выбросы CO₂ при горении отходов переработки масличных культур происходят в полном объеме, точно также, и ничуть ни меньше, чем при горении ископаемых углеродсодержащих топлив. Однако теоретически, умозрительно, считают, что если мы вдруг опять поседем масличную культуру в тех же объемах, что и в предыдущем году, то для своего развития в следующем году растения поглотят из атмосферы ровно столько же CO₂, сколько попало в атмосферу при их горении нынче. В современных условиях элементы топливно-энергетического комплекса требуют не только практического их использования, но и тщательного изучения и исследования эффективности горения. Горение органических отходов сельскохозяйственного производства – это перспективное направление в энергетике. Оно состоит из нескольких вариантов осуществления процесса. Наиболее часто говорят о переработке масличных культур в биодизельное топливо, а также об изготовлении из целлюлозосодержащих продуктов: брикетов, пеллет, гранул. Однако оба эти направления требуют до 15-20 % затрат энергии на выполнение технологических операций по трансформации сырья в топливо. В тоже время, горение лузги клещевины в слое непосредственно на маслозаводе свободно от дополнительных затрат. Эффективность горения лузги клещевины, в основном, зависит от её влажности, насыпной плотности и пористости слоя. Коэффициент теплопроводности лузги клещевины также зависит от этих параметров и может рассматриваться, как обобщающий параметр.

Цель исследований: определить коэффициенты теплопроводности лузги клещевины как обобщающего параметра для использования при расчетах условия устойчивого и эффективного горения лузги клещевины в топке котла, для обеспечения тепловых процессов в технологической линии получения касторового масла из семян клещевины.

Задачи исследований: провести экспериментальные исследования по определению зависимости коэффициента теплопроводности λ (Вт/(м·К)) лузги клещевины от влажности W (%), насыпной плотности $\rho_{н.п.}$ (кг/м³) и пористости $P_{п.к.}$ (%) с использованием комплекса оборудования и аппаратуры. По результатам исследований построить графические зависимости исследуемых величин. Путем математической обработки выполнить аппроксимацию графических зависимостей и получить эмпирические уравнения регрессии, которые можно было бы использовать в инженерных расчетах прикладного характера.

Материалы и методы исследований. Исследования выполнены на кафедре электроэнергетики имени профессора И.П. Назаренко ФГБОУ ВО «Мелитопольский государственный университет» (г. Мелитополь) в период 2023-2025 гг. При проведении экспериментальных исследований использовались численные и статистические методы обработки экспериментальных данных [6].

В представленную работу включен вопрос возможности использования коэффициента теплопроводности лузги клещевины, как обобщенного параметра контроля эффективность её горения. При растущем спросе на касторовое масло и увеличивающихся площадях посева клещевины, отмечается перспективность использования её лузги в качестве альтернативного топлива для обеспечения тепловых процессов при переработке клещевины на касторовое масло.

Объектом исследования являлась лузга клещевины, полученная в соответствии с технологией [7]. В работе использованы методика определения коэффициента теплопроводности сельскохозяйственных материалов [8] и методика расчета выносной топки к серийно выпускаемой котельной установке для горения лузги клещевины [4]. Коэффициент теплопроводности определяли с помощью прибора ИТП-МГ4 со штатным набором датчиков и термопар [8]. Влажность, плотность и пористость лузги определяли стандартными методами, а именно влажность - весовым методом, плотность - гидростатическим методом, пористость - исходя из средней и истинной плотности материала.



Рис. 1. Материалы, использованные в исследованиях: лузга клещевины

Методика определения коэффициента теплопроводности сельскохозяйственных материалов заключается в следующем. Предварительно определяли влажность лузги гравиметрическим методом и насыпную плотность путем взвешивания пробы лузги клещевины в мерном сосуде. Затем навеску лузги клещевины, установленной влажности и насыпной плотности, помещали в емкость для измерения коэффициента теплопроводности, где её сверху нагревали, а снизу охлаждали для создания теплового потока. После установления стационарного режима, измеряли термо-ЭДС датчика плотности теплового потока, термо-ЭДС горячей термопары, термо-ЭДС холодной термопары и толщину образца. После проведения эксперимента коэффициент теплопроводности лузги клещевины вычисляли по формуле:

$$\lambda_{\text{л.к.}} = \frac{q \cdot \delta}{\Delta t} = \frac{U_q \cdot k_q \cdot \delta}{\frac{U_{t_g}}{k_t} - \frac{U_{t_x}}{k_t}} \quad (1)$$

где $\lambda_{\text{л.к.}}$ – коэффициент теплопроводности лузги клещевины, Вт/(м·К);

q – плотность теплового потока, Вт/(м²·К);

δ – толщина образца материала, м;

U_q – термо-ЭДС датчика плотности теплового потока, мВ;

k_q – коэффициент датчика теплового потока, 78 Вт/(мВ·м²);

U_{t_g} – величина термо-ЭДС горячей термопары, мВ;

k_t – коэффициент термопары (0,083 мВ/К);

U_{t_x} – величина термо-ЭДС холодной термопары, мВ.

Исследования проводились для 12 проб лузги клещевины с различным сочетанием влажности и насыпной плотности, с трехкратной повторностью.

Результаты исследований. В результате обработки данных экспериментальных исследований получены графические зависимости и эмпирические уравнения регрессии для различных режимов измерения зависимости коэффициента теплопроводности λ (Вт/(м·К)) лузги клещевины от влажности W (%), насыпной плотности $\rho_{\text{н.п.}}$ (кг/м³) и пористости $P_{\text{л.к.}}$ (%).

В соответствии с условиями проведения экспериментальных исследований влажность W изменялась в пределах 7–18 %, Насыпная плотность лузги клещевины $\rho_{\text{н.п.}}$ изменялась в пределах 100–150 кг/м³, а измельченной лузги до 250 кг/м³, пористость $P_{\text{л.к.}}$ в пределах 0–70 %.

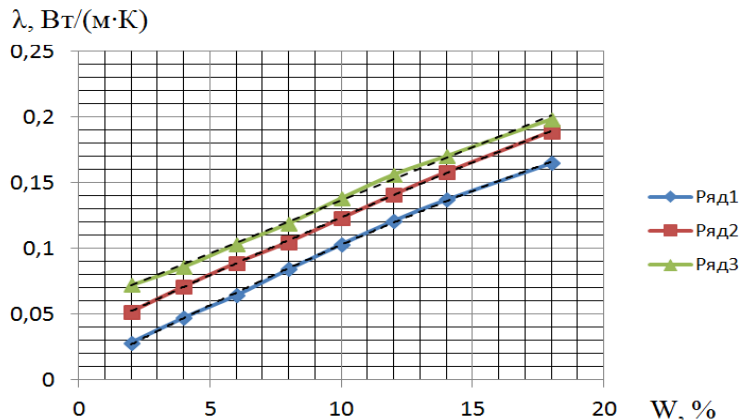


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплопроводности лузги клещевины λ (Вт/(м·К)) от влажности W (%):

1 – Ряд 1 при насыпной плотности $\rho_{\text{н.п.}}$ равной 100 кг/м³; 2 – Ряд 2 при насыпной плотности $\rho_{\text{н.п.}}$ равной 150 кг/м³,

3 – Ряд 3 при насыпной плотности $\rho_{\text{н.п.}}$ равной 250 кг/м³

Зависимость коэффициента теплопроводности лузги клещевины λ (Вт/(м·К)) от влажности W (%) при насыпной плотности $\rho_{\text{н.п.}}$ равной 100 кг/м³ выражается уравнением регрессии, которое имеет следующий вид:

$$\lambda_W = 0,005 + 1,2 \cdot W - 11 \cdot W^2 + 1,7 \cdot 10^2 \cdot W^3 + 530 \cdot W^4, \quad (2)$$

где λ_W – коэффициент теплопроводности лузги клещевины, (Вт/(м·К));

W – влажность, (%).

Зависимость коэффициента теплопроводности лузги клещевины λ (Вт/(м·К)) от влажности W (%) при насыпной плотности $\rho_{\text{н.п.}}$ равной 150 кг/м³ выражается уравнением регрессии, которое имеет следующий вид:

$$\lambda_W = 0,0335 + 0,0094 \cdot W - 4 \cdot 10^{-5} \cdot W^2. \quad (3)$$

Зависимость коэффициента теплопроводности лузги клещевины λ (Вт/(м·К)) от влажности W (%) при насыпной плотности $\rho_{н.п.}$ (кг/м³) равной 250 выражается уравнением регрессии, которое имеет следующий вид:

$$\lambda_W = 0,0521 + 0,009 \cdot W - 5 \cdot 10^{-5} \cdot W^2. \quad (4)$$

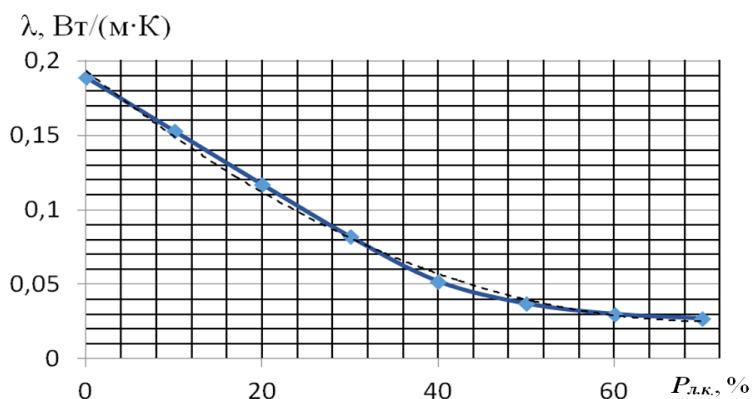


Рис. 3. Зависимость коэффициента теплопроводности лузги клещевины $\lambda_{П.к.}$ (Вт/(м·К)) от пористости $P_{л.к.}$ (%)

Зависимость коэффициента теплопроводности лузги клещевины $\lambda_{П.к.}$ (Вт/(м·К)) от пористости $P_{л.к.}$ (%), с учетом данных [9] выражается уравнением регрессии, которое имеет следующий вид:

$$\lambda_{П.к.} = 0,1935 + 0,0047 \cdot P_{л.к.} - 3 \cdot 10^{-5} \cdot P_{л.к.}^2. \quad (5)$$

Анализ полученных результатов выполнен с использованием основных положений теории горения. Теория горения, бурно развивающаяся молодая наука. Объяснение процессов горения стало возможным только в 20 веке. Основатель теории горения советский ученый академик Н.Н. Семенов, который внес важнейший вклад в её становление и развитие [10]. Скорость горения обусловлена не только химическими свойствами топлива, но переносом теплоты, давлением и прочим. Скорость химических реакций зависит от температуры и теплофизических свойств, в том числе и от коэффициента теплопроводности. При комнатной температуре топливовоздушная смесь хранится сколь угодно долго. Для начала процесса горения есть два пути: 1 - нагреть всю смесь до температуры самовозгорания; 2 - поднести к топливовоздушной смеси открытый огонь.

Условием горения является состояние, при котором количество теплоты, выделяемое во время процесса горения ($Q_{р.г.}$) превышает количество теплоты, которое отводится за счет теплопроводности ($Q_{тп}$) [11].

$$Q_{р.г.} = A \cdot m \cdot e^{-\frac{E}{R \cdot T}} > Q_{тп} = \frac{\lambda}{\delta} \cdot \Delta T \cdot F. \quad (6)$$

где A – тепловой эффект реакции, Дж/кг;

m – масса топлива, кг;

$e^{-\frac{E}{R \cdot T}}$ – экспоненциальная функция;

E – энергия активации, Дж/моль;

R – газовая постоянная, Дж/(моль·К);

T – температура, К;

λ – коэффициент теплопроводности, (Вт/(м·К));

δ – толщина слоя, м;

F – площадь, м².

При этом необходимо отметить, что коэффициент теплопроводности характеризует эффективность или скорость передачи теплоты материалом. То есть, оценивая значения коэффициента теплопроводности можно сделать вывод о условиях протекания реакции горения. Он является своеобразным обобщающим параметром, влияющим на эффективность горения, в том числе и лузги клещевины. Более низкие значения коэффициента теплопроводности лузги клещевины соответствуют более эффективному горению, в то время как, более высокие – ухудшают его. Так с увеличением влажности от 2 до 18% и плотности лузги клещевины (рис. 2) коэффициент теплопроводности увеличивается примерно в четыре раза, что ухудшает условия протекания реакции горения. В то же время, с увеличением пористости лузги клещевины (рис. 3) до 70% коэффициент теплопроводности уменьшается примерно также - в четыре раза, что улучшает условия протекания реакции горения.

Проведенные нами ранее исследования показали, что с увеличением коэффициента теплопроводности увеличиваются и потери теплоты с уходящими газами [12], что также нежелательно.

В литературе отмечена возможность использования лузги клещевины в качестве биодизельного топлива [13, 14].

Заключение. Доказана возможность использования коэффициента теплопроводности лузги клещевины, как обобщающего параметра контроля эффективности её горения. Обоснованы параметры влияющие на коэффициент теплопроводности λ (Вт/(м·К)) лузги клещевины такие как, влажность W (%), насыпная плотность $\rho_{н.п.}$ (кг/м³) и пористость $P_{п.к.}$ (%). Получены графические зависимости и эмпирические уравнения регрессии определения коэффициента теплопроводности лузги клещевины, с учетом указанных параметров. Установлено, что процесс горения происходит наиболее эффективно при коэффициенте теплопроводности лузги клещевины равном 0,05-0,09 Вт/(м·К), влажности – 6-9%, плотности, при слоевом горении – 100-120 (кг/м³) и пористости 40-50%.

Список источников

- ГОСТ 14944. Семена клещевины (промышленное сырьё). М. : Стандартинформ, 2015. 6 с.
- Пат. РФ Топка для сжигания топлива с малым удельным весом / Горошников Б. Н., Денисов В. М., Калашник В. Г., Леонтьевская А. Ф. Патентообладатель ЗАО СП «Энергософин» (RU). № 2394189 С1. 2010. Бюл. № 19.
- Ольховатов Е. А. Совершенствование технологии комплексной переработки плодов клещевины. – 2011.
- Стручаев Н. И., Чебанов А. Б., Адамова С. В., Чебанова Ю. В., Стручаев К. Н. Энергетические аспекты комплексной технологии переработки семян клещевины в касторовое масло // Агропромышленные технологии Центральной России. 2024. № 4(34). С. 115-124. DOI: [10.24888/2541-7835-2024-34-4-115-124](https://doi.org/10.24888/2541-7835-2024-34-4-115-124) EDN: [DMNONI](https://www.edn.net/DMNONI)
- Садов А. А., Денежко Л. В. Оценка дизельного смесового топлива на основе рицинового масла и биоэтанола // Научно-технический вестник: Технические системы в АПК. 2021. № 1 (9). С. 35-42. EDN: [ELSWPN](https://www.edn.net/ELSWPN)
- Николаев Н. С., Урюпин М. А. Математическая обработка результатов экспериментальных исследований // Вестник Международной академии холода. 2009. № 1. С. 46-48. EDN: [KBXVEF](https://www.edn.net/KBXVEF)
- Ольховатов Е. А. Совершенствование технологии комплексной переработки плодов клещевины : монография. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет, 2011. 107 с. EDN: [ULTNQZ](https://www.edn.net/ULTNQZ)
- Чашиллов Д. В. Исследование зависимости коэффициента теплопроводности от насыпной плотности цветковой чешуи овса посевного *avena sativa* // Южно-Сибирский научный вестник. 2022. № 6 (46). С. 300-307. DOI: [10.25699/SSSB.2022.46.6.047](https://doi.org/10.25699/SSSB.2022.46.6.047) EDN: [ERCPKO](https://www.edn.net/ERCPKO)
- Чебанов А. Б. Обгрунтування конструктивно-технологічних параметрів пневмосепаратора рушанки ріцини з пилословлюючим пристроєм : дис. ... канд. техн. наук. Мелітополь, 2013. 188 с.
- Семёнов Н. Н. Теория цепных реакций // Наука и жизнь. 2006. №4 С. 68-71.
- Захаров Е. А., Гибадуллин В. З., Федянов Е. А., Шумский С. Н. Интенсификация процессов воспламенения и горения углеводородных топлив при их искровом зажигании : монография. Волгоград : Волгоградский государственный технический университет, 2017. 136 с. ISBN: 978-5-9948-2732-1 EDN: [YLGIME](https://www.edn.net/YLGIME)
- Стручаев Н. И., Бондаренко Л. Ю., Стручаев К. Н. Повышение эффективности сжигания щепы из веток плодовых деревьев // Роль аграрной науки в обеспечении продовольственной безопасности : материалы Международной научно-практической конференции. Мелитополь : МелГУ, 2024. С. 161-168. EDN: [KJAOGP](https://www.edn.net/KJAOGP)
- Zhu Q. L., Gu H., Ke Z. Congeneration biodiesel, ricinine and nontoxic meal from castor seed // Renewable Energy. 2018. № 120. P. 51-59. DOI: [10.1016/j.renene.2017.12.075](https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.12.075)
- Hou Junming, Yang Yong, Zhu Hongjie, Hu Weixue. Experiment on impact damage of castor capsule and its influencing factors optimization // INMATEH Agricultural Engineering, №. 61, No. 2. 2020. P. 87-96. DOI: [10.35633/inmateh-61-10](https://doi.org/10.35633/inmateh-61-10) EDN: [OGTHQW](https://www.edn.net/OGTHQW)

References

- GOST 14944. Castor seeds (industrial raw materials). Moscow : Standartinform, 2015. 6 (in Russ.).
- Patent of the Russian Federation A furnace for burning fuel with a low specific gravity / Goroshnikov B. N., Denisov V. M., Kalashnik V. G., Leontievskaya A. F. Patent holder of CJSC JV Energosofin (RU). No. 2394189 C1. 2010. Byul. No. 19. (in Russ.).
- Olkhovatov, E. A. (2011). Improvement of the technology of complex processing of castor bean fruits. (in Russ.).
- N. I. Struchayev, A. B. Chebanov, S. V. Adamova, K. N. & Struchayev (2024). Energy aspects of the integrated technology of castor seed processing in castor oil. (*Agro-industrial technologies of Central Russia*). № 4(34). (pp. 115-124). Samara (in Russ.). DOI: [10.24888/2541-7835-2024-34-4-115-124](https://doi.org/10.24888/2541-7835-2024-34-4-115-124) EDN: [DMNONI](https://www.edn.net/DMNONI)
- Sadov, A. A., Denezhko, L. V. (2021). Evaluation of diesel mixed fuel based on castor oil and bioethanol. (*Scientific and technical bulletin: Technical systems in the agro-industrial complex*). No. 1 (9). 35-42 (in Russ.). EDN: [ELSWPN](https://www.edn.net/ELSWPN)
- Nikolaev, N. S., Uryupin, M. A. (2009). Mathematical processing of experimental research results. (*Bulletin of the International Academy of Refrigeration*). 1. 46-48. (in Russ.). EDN: [KBXVEF](https://www.edn.net/KBXVEF)
- Olkhovatov, E. A. (2011). *Improving the technology of complex processing of castor beans*. Krasnodar: Kuban State Agrarian University. (in Russ.). EDN: [ULTNQZ](https://www.edn.net/ULTNQZ)
- Chashilov, D. V. (2022). Study of the dependence of the thermal conductivity coefficient on the bulk density of the flower scales of oats *avena sativa*. (*South Siberian Scientific Bulletin*), 6 (46), 300-307. (in Russ.). DOI: [10.25699/SSSB.2022.46.6.047](https://doi.org/10.25699/SSSB.2022.46.6.047) EDN: [ERCPKO](https://www.edn.net/ERCPKO)
- Chebanov, A. B. (2013). Priming of the design and technological parameters of the Rushanka ricini pneumatic separator with a lumber-catching device: abstract. Dissertation Candidate of of Technical Sciences. Melitopol. 188. (in Ukr.).
- Semenov, N. (2006). Theory of chain reactions. *Science and Life*, (4), 68-71. (in Russ.).
- Zakharov, E. A., Gibadullin, V. Z., Fedyanov, E. A. & Shumsky, S. N. (2017). *Intensification of ignition and combustion processes of hydrocarbon fuels during their spark ignition*. Volgograd : Volgograd State Technical University. (in Russ.). ISBN: 978-5-9948-2732-1 EDN: [YLGIME](https://www.edn.net/YLGIME)
- Struchayev, N. I., Bondarenko, L. Yu. & Struchayev, K. N. (2024). Increasing the efficiency of burning chips from branches of fruit trees. *The role of agricultural science in ensuring food security: materials of the International scientific and practical conference*. Melitopol: MelSU, 161-168. (in Russ.). EDN: [KJAOGP](https://www.edn.net/KJAOGP)

13. Zhu, Q. L., Gu, H., & Ke, Z. (2018). Congeneration biodiesel, ricinine and nontoxic meal from castor seed. *Renewable Energy*, 120, 51-59. DOI: [10.1016/j.renene.2017.12.075](https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.12.075)

14. Hou Junming, Yang Yong, Zhu Hongjie, Hu Weixue. (2020). Experiment on impact damage of castor capsule and its influencing factors optimization. *INMATEH Agricultural Engineering*. 61, 2. 87-96. DOI: [10.35633/inmateh-61-10](https://doi.org/10.35633/inmateh-61-10) EDN: [OGTHQW](https://doi.org/10.35633/inmateh-61-10)

Информация об авторах:

Н. И. Стручаев – кандидат технических наук, доцент;

А. Б. Чебанов – кандидат технических наук, доцент;

С. В. Адамова – старший научный сотрудник;

К. Н. Стручаев – аспирант;

Д. А. Милько – доктор технических наук, профессор.

Information about the authors

N. I. Struchaev – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

A. B. Chebanov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor;

S. V. Adamova – Senior Research Fellow;

K. N. Struchaev – Post Graduate student;

D. A. Milko – Doctor of Technical Sciences, Professor.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The contribution of the authors: the authors contributed to this article. The authors declare no conflict of interests.

Статья поступила в редакцию 1.09.2025; одобрена после рецензирования 30.09.2025; принята к публикации 15.10.2025.

The article was submitted 1.09.2025; approved after reviewing 30.09.2025; accepted for publication 15.10.2025.