

## Исследование теплофизических и электрофизических свойств высушенного измельченного жмыха плодов облепихи

|                       |              |                                                                |                                                                                                         |
|-----------------------|--------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Виталий Ю. Овсянников | <sup>1</sup> | <a href="mailto:ows2003@mail.ru">ows2003@mail.ru</a>           |  0000-0001-9388-6303 |
| Наталья Н. Лобачева   | <sup>1</sup> | <a href="mailto:naloni@mail.ru">naloni@mail.ru</a>             |  0000-0002-6561-7285 |
| Василий В. Торопцев   | <sup>1</sup> | <a href="mailto:vsworkmail@bk.ru">vsworkmail@bk.ru</a>         |  0000-0001-6448-5586 |
| Сергей А. Трунов      | <sup>1</sup> | <a href="mailto:truman13@yandex.ru">truman13@yandex.ru</a>     |                                                                                                         |
| Мария А. Лобачева     | <sup>1</sup> | <a href="mailto:lobatchyovam@mail.ru">lobatchyovam@mail.ru</a> |                                                                                                         |

<sup>1</sup> Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

**Аннотация.** Разработка ресурсосберегающих технологий получения чистого облепихового масла и его композиций с другими растительными маслами из высушенного измельченного жмыха плодов облепихи является актуальной задачей. Облепиховое масло и его смеси получают путем экстрагирования и одновременного теплового воздействия. При этом рассматриваются электрофизические способы интенсификации протекания процесса. В настоящее время надежные данные по теплофизическим и электрофизическим свойствам высушенного измельченного жмыха плодов облепихи при атмосферном давлении в литературе отсутствуют. Поэтому для решения задач, как теоретического, так и практического характера, большое значение приобретают экспериментальные исследования теплофизических и электрофизических свойств высушенного измельченного жмыха плодов облепихи в широком интервале изменения параметров состояния. Установлено, что характер изменения удельной теплоемкости, коэффициентов теплопроводности и температуропроводности в диапазоне температур 20–80 °С и влажности 7,0–17,5% носит линейный характер. При этом удельная теплоемкость и коэффициент теплопроводности при повышении температуры увеличиваются, а коэффициент температуропроводности снижается. Также было обнаружено, что нелинейная зависимость коэффициента диэлектрических потерь от влажности обусловлена разнообразием форм связывания влаги в частицах облепихового жмыха. Характерно, что при повышении температуры и влажности жмыха коэффициент диэлектрических потерь монотонно нелинейно повышается в пределах 0,46–9,72. По результатам исследований теплофизических и электрофизических свойств получены эмпирические уравнения, позволяющие надежно определить значение удельной массовой теплоемкости, коэффициентов теплопроводности, температуропроводности и диэлектрических потерь высушенного измельченного жмыха плодов облепихи от температуры и влажности в интервале 7,0–17% по отношению к абсолютно сухому веществу.

**Ключевые слова:** облепиха, жмых, теплоемкость, коэффициент теплопроводности, коэффициент температуропроводности, коэффициент диэлектрических потерь

## Investigation of thermo- and electrophysical properties of dried crushed sea buckthorn cake

|                        |              |                                                                |                                                                                                           |
|------------------------|--------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vitaly Yu. Ovsyannikov | <sup>1</sup> | <a href="mailto:ows2003@mail.ru">ows2003@mail.ru</a>           |  0000-0001-9388-6303 |
| Natalja N. Lobacheva   | <sup>1</sup> | <a href="mailto:naloni@mail.ru">naloni@mail.ru</a>             |  0000-0002-6561-7285 |
| Vasiliy V. Toroptsev   | <sup>1</sup> | <a href="mailto:vsworkmail@bk.ru">vsworkmail@bk.ru</a>         |  0000-0001-6448-5586 |
| Sergei A. Trunov       | <sup>1</sup> | <a href="mailto:truman13@yandex.ru">truman13@yandex.ru</a>     |                                                                                                           |
| Mariia A. Lobacheva    | <sup>1</sup> | <a href="mailto:lobatchyovam@mail.ru">lobatchyovam@mail.ru</a> |                                                                                                           |

<sup>1</sup> Voronezh State University of Engineering Technologies, 19, Revolution Av., Voronezh, 394036, Russia

**Abstract.** The development of resource-saving technologies for obtaining pure sea buckthorn oil and its compositions with other vegetable oils from dried crushed sea buckthorn cake is an urgent task. Sea buckthorn oil and its mixtures are obtained by extraction and simultaneous heat exposure, electrophysical methods of the process intensifying being considered in this case. Currently, there are no reliable data on the thermo- and electrophysical properties of dried crushed sea buckthorn cake at atmospheric pressure in the literature. Therefore, experimental studies of the thermo- and electrophysical properties of dried crushed sea buckthorn cake in a wide range of changes in state parameters are of great importance for solving theoretical and practical problems. The nature of the change in the specific heat, thermal conductivity and thermal diffusivity in the temperature range 20 ... 80 °C and humidity 7.0 ... 17.5% was determined to be linear. In this case, the specific heat and the coefficient of thermal conductivity increase with increasing temperature while the coefficient of thermal diffusivity decreases. The nonlinear dependence of the dielectric loss coefficient on moisture was found to be due to a variety of forms of moisture binding in the sea buckthorn cake particles. It is obvious that with an increase in the cake temperature and humidity, the dielectric loss coefficient monotonically nonlinearly increases in the range of 0.46 ... 9.72. Empirical equations that make it possible to reliably determine the value of the specific mass heat capacity, thermal conductivity coefficients, thermal diffusivity and dielectric losses of dried crushed sea buckthorn cake from temperature and humidity in the range of 7.0 ... 17% with respect to absolutely dry matter were obtained as a result of studies of thermo- and electrophysical properties.

**Keywords:** sea buckthorn, cake, heat capacity, thermal conductivity coefficient, thermal diffusivity, dielectric loss coefficient

Для цитирования

Овсянников В.Ю., Лобачева Н.Н., Торопцев В.В., Трунов С.А., Лобачева М.А. Исследование теплофизических и электрофизических свойств высушенного измельченного жмыха плодов облепихи // Вестник ВГУИТ. 2021. Т. 83. № 2. С. 48–55. doi:10.20914/2310-1202-2021-2-48-55

For citation

Ovsyannikov V.Yu., Lobacheva N.N., Toroptsev V.V., Trunov S.A., Lobacheva M.A. Investigation of thermo- and electrophysical properties of dried crushed sea buckthorn cake. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2021. vol. 83. no. 2. pp. 48–55. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2021-2-48-55

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

## Введение

Выбор оптимальных параметров процесса получения чистого облепихового масла и его композиций с другими маслами невозможен без знания его теплофизических свойств.

Использование в технологическом процессе энергетического потенциала электромагнитного поля сверхвысокой частоты позволяет добиться его интенсификации, но также требует знания надежных электрофизических свойств обрабатываемого сырья.

Сухой измельченный жмых плодов облепихи представляет собой сложную систему, состоящую из частиц плодовых оболочек и разрушенных семян [1, 2].

В процессе переработки высушенный и измельченный жмых подвергается температурному воздействию с характерным изменением для всех пищевых сред теплофизическими параметрами.

В литературе отсутствуют данные, описывающие теплофизические свойства высушенного измельченного жмыха, полученного из плодов облепихи. Следовательно, необходимо измерить теплофизические свойства. Кроме того, они необходимы в различных исследовательских проектах, при проектировании и разработке новых технологических процессов и устройств, при математическом моделировании и решении задач оптимизации рабочих параметров модернизируемых процессов и оборудования, а также при контроле качества продукции.

Промышленное использование высокоценных соединений облепихи требует разработки и использования экологически чистых, эффективных и устойчивых процессов извлечения масла из сырья с применением различных интенсифицирующих факторов, в том числе электромагнитного поля сверхвысокой частоты [2]. В этом случае характер поведения обрабатываемого жмыха плодов облепихи будет определяться как электрофизическими свойствами сырья, так и условиями его обработки, важнейшими из которых являются давление и температура.

## Материалы и методы

Объектами исследований являлся жмых, полученный из плодов облепихи (*Hipporhae rhamnoides L. Elaeagnaceae*) сорта «Воробьевская», произрастающей в Центральном-Черноземном регионе Воронежской области, собранной и заготовленной в летне-осенний период 2020 г.

Жмых из плодов облепихи получали следующим образом.

Непосредственно перед получением сырья требуемого состава проводили комплекс мероприятий, включающий инспекцию принятых

плодов облепихи с целью удаления некондиционных плодов и загрязнений растительного происхождения, после чего осуществляли мойку плодов и механический отжим сока с отделением жом. Отжатый жом разрыхляли и подвергали конвективной сушке при температуре воздуха 45–50 °С до достижения требуемой влажности. Высушенный жом плодов облепихи подвергали измельчению в ножевой мельнице с ситовой поверхностью, имеющей отверстия диаметром  $1 \times 10^{-3}$  м.

Экспериментальное изучение теплофизических и электрофизических свойств высушенного измельченного жмыха плодов облепихи осуществляли при атмосферном давлении.

При измерении осуществляли варьирование значениями температуры жмыха и его влажности в пересчете на абсолютно сухое вещество.

Изучение теплоемкости измельченного жмыха, полученного из высушенных плодов облепихи, проводилось с помощью измерителя теплоемкости ИТ-С-400 ГОСТ 6683 (диапазон температур измерения от минус 100 до 400 °С), обеспечивающего измерение теплоемкости с погрешностью не более 10%, включающий измерительную систему на основе конструкции калориметра, снабженного блоком питания и регулировкой скорости изменения температуры. В ходе экспериментов обеспечивался монотонный режим нагрева со средней скоростью 0,1 °С/мин с автоматическим регулированием температуры теплоизолированной оболочки.

Принцип измерения теплоемкости основан на использовании метода равномерного нагрева образца в условиях, максимально приближенных к отсутствию теплообмена с окружающей средой. Тепловой поток от нагревателя передавался кювете с образцом измельченного облепихового жмыха. Теплоизолированная оболочка с нагревателем исключала теплообмен и компенсировала тепловые потери измельченного образца жмыха из облепихи с окружающей средой. Пробный объем измельченного образца жмыха помещали в кювету прибора и герметично закрывали. В ходе эксперимента базовая температура образца увеличивалась по линейному закону путем регулировки электрических характеристик нагревателя устройства [3–5]. Температуру теплоизолированной оболочки и кюветы с измельченным образцом жмыха из облепихи поддерживали постоянными за счет обеспечения непрерывного контроля. Удельную теплоемкость образца определяли косвенно, исходя из задержки изменения температуры

между верхним и нижним регистраторами температуры, с учетом объема измельченного облепихового жмыха и постоянных значений прибора.

Коэффициент теплопроводности характеризует теплопроводные свойства измельченного облепихового жмыха и, в отличие от теплоемкости, не является аддитивной функцией, так как зависит не только от химического состава, но и от структуры вещества, а также от направления теплового потока. Коэффициент теплопроводности измельченного жмыха плодов облепихи характеризует его теплоинерционные свойства и его способность проводить теплоту.

Для определения коэффициента теплопроводности использовали метод стационарного теплового потока, заложенный в принцип работы измерителя теплопроводности ИТС-1 ГОСТ 7076, обеспечивающий измерение теплопроводности сыпучих сред в диапазоне 0,02–1,5 Вт/(м×К) с погрешностью 5%.

Принцип измерения теплопроводности основан на создании стационарного теплового потока, проходящего через исследуемый плоский образец. Теплопроводность образца рассчитывалась из значения теплового потока, измеренного электронным блоком, значений температуры противоположных сторон образца с учетом его толщины по специальной формуле, представленной в руководстве по эксплуатации прибора.

Значения величины температуропроводности высушенного измельченного жмыха плодов облепихи определяли расчетным путем, зная величину его плотности по отношению значения теплопроводности жмыха к произведению удельной теплоемкости и плотности, измеренных в одинаковых условиях [6].

Также исследовали зависимость коэффициента диэлектрических потерь высушенного измельченного жмыха облепихи от содержания влаги в нем и температуры. Для этого использовали сравнительный экспресс метод, позволяющий достаточно точно определить коэффициент диэлектрических потерь пищевых сред.

В основе принципа измерения заложено сравнение скорости нагрева образца и эталона одинаковой массы за тот же промежуток времени [7, 8].

Средняя удельная активная мощность за данный промежуток времени, рассеиваемая на единицу объема исследуемого материала в виде тепла в соответствии с законом Джоуля-Ленца, определяется по формуле:

$$P_{уд} = 0,556 \cdot 10^{-10} \varepsilon'' \cdot f \cdot E^2 \quad (1)$$

где  $P_{уд}$  – удельная мощность, Вт/м<sup>3</sup>;  $\varepsilon''$  – величина коэффициента диэлектрических потерь;  $f$  – частота колебаний электромагнитного поля, Гц;  $E$  – напряженность электромагнитного поля, В/м.

Кроме того, тепловая энергия, генерируемая в материале, может быть рассчитана по формуле:

$$Q = cm\Delta t, \quad (2)$$

где  $Q$  – количество тепла, выделяемого в материале, Дж;  $c$  – удельная теплоемкость вещества пробы, Дж/(кг·К);  $m$  – масса пробы, кг;  $\Delta t$  – перепад температур между конечным и начальным значением пробы, °С.

Приравнивание удельной мощности к количеству тепла, выделяемого в материале из уравнений (1) и (2) и проводя сравнение скоростей нагрева испытуемого вещества и эталона позволяет определить значение коэффициента диэлектрических потерь.

Эксперимент проводился в микроволновой печи *Samsung* с частотой электромагнитного поля 2450 МГц и максимальной мощностью колебаний 850 Вт. В качестве эталонного вещества использовалась дистиллированная вода. Температуру нагрева эталона и образца контролировали универсальным двухканальным измерителем – контроллером TRM202. Датчиками измерения температуры служили хромель-копелевые термодпары с диаметром спая 0,2 мм.

Измерение коэффициента диэлектрических потерь измельченного жмыха облепихи проводилось в диапазоне влажности 7–23%. Облепиховый жмых до определенной влажности сушили в лабораторной конвекционной сушилке «Муссон», осуществляя периодический отбор проб для анализа содержания влаги и определения окончания сушки. Для снятия температурных зависимостей эксперименты проводились при различных температурах в диапазоне 20–60 °С. Для этого высушенный измельченный жмых облепихи предварительно термостатировали в шкафу с автоматическим контролем температуры.

### Результаты

Экспериментальные исследования по изучению теплофизических свойств высушенного измельченного жмыха облепихи проводили в трехкратной последовательности. В качестве итогового измеренного значения принимали среднее из трех опытов. Характер изменения удельной массовой теплоемкости, коэффициентов теплопроводности и температуропроводности в зависимости от влажности и температуры представлены соответственно на рисунках 1–3.

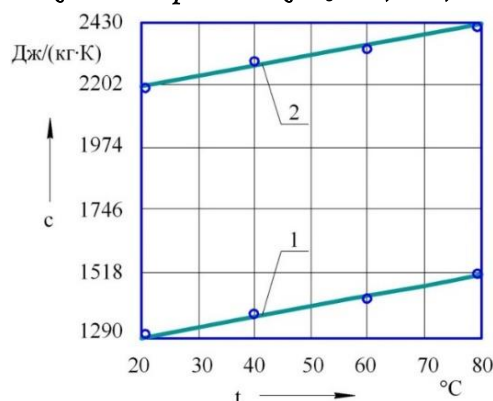


Рисунок 1. Изменение величины удельной массовой теплоемкости высушенного измельченного жмыха плодов облепихи в зависимости от температуры  $t$ , °C при влажности  $W^c$ , %: 1–7,0%; 2–17,5%

Figure 1. Change in the value of the specific mass heat capacity of dried crushed sea buckthorn cake depending on temperature  $t$ , °C at humidity  $W^c$ , %: 1 – 7.0%; 2 – 17.5%

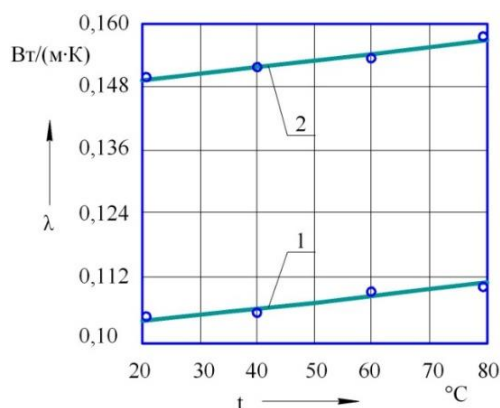


Рисунок 2. Изменение коэффициента теплопроводности высушенного измельченного жмыха плодов облепихи в зависимости от температуры  $t$ , °C при влажности  $W^c$ , %: 1–7,0%; 2–17,5%

Figure 2. Change in the thermal conductivity coefficient of dried crushed sea buckthorn cake depending on temperature  $t$ , °C at humidity  $W^c$ , %: 1 – 7.0%; 2 – 17.5%

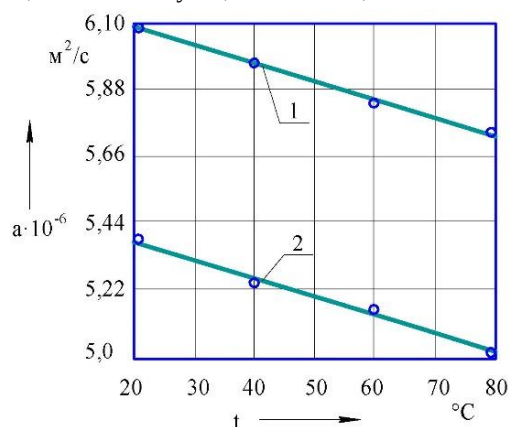


Рисунок 3. Изменение коэффициента температуропроводности высушенного измельченного жмыха плодов облепихи в зависимости от температуры  $t$ , °C при влажности  $W^c$ , %: 1–7,0%; 2–17,5%

Figure 3. Change in the coefficient of thermal diffusivity of dried crushed sea buckthorn cake depending on temperature  $t$ , °C at humidity  $W^c$ , %: 1 – 7.0%; 2 – 17.5%

Полученные экспериментальные данные обрабатывались на компьютере в среде Microsoft Excel, что в итоге позволило получить следующие зависимости теплофизических свойств жмыха облепихи для температурного диапазона 20–80 °C:

– для коэффициента температуропроводности,  $a \times 10^{-6}$ , м²/с:

$$a = (6,684 - 0,006 t - 0,068 W^c) 10^{-6}; \quad (3)$$

– для коэффициента теплопроводности,  $\lambda$ , Вт / (м×K):

$$\lambda = 0,071 + 0,001 t + 0,004 W^c \quad (4)$$

– для массовой удельной теплоемкости,  $c$ , Дж / (кг×K)

$$c = 606,045 + 3,765 t + 87,136 W^c \quad (5)$$

Таким образом, выполненные исследования теплофизических свойств высушенного измельченного жмыха плодов облепихи, представленные на рисунках 1–3 показывают, что массовая удельная теплоемкость, коэффициенты теплопроводности и температуропроводности в зависимости от температуры носят выраженный линейный характер.

Характер изменения величины коэффициента диэлектрических потерь высушенного жмыха облепихи от влажности и температуры представлены на рисунках 4 и 5.

Рисунок 4 иллюстрирует зависимость изменения коэффициента диэлектрических потерь от влажности жмыха облепихи при температуре 20 °C, 30 °C и 55 °C.

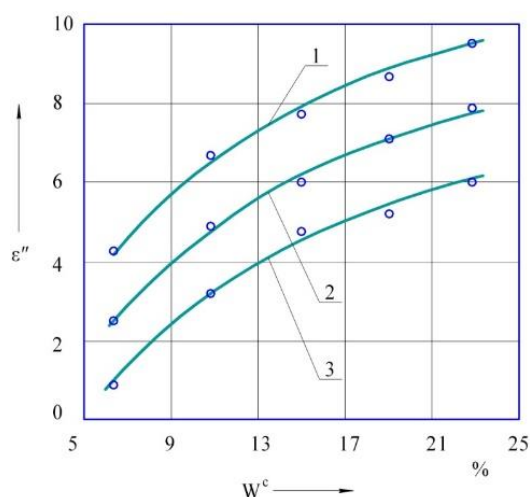


Рисунок 4. Изменение величины коэффициента диэлектрических потерь  $\epsilon''$  от влажности  $W^c$ , % высушенного жмыха облепихи и температуры  $t$ , °C в сверхвысокочастотном поле: 1 – 20 °C; 2 – 30 °C; 3 – 55 °C

Figure 4. Change in the value of the dielectric loss coefficient  $\epsilon''$  from the humidity  $W^c$ , % of dried sea buckthorn cake and temperature  $t$ , °C in a microwave field: 1 – 20 °C; 2 – 30 °C; 3 – 55 °C

На рисунке 5 представлены графики температурных зависимостей коэффициента диэлектрических потерь высушенного измельченного жмыха облепихи влажностью 7,0%, 14,0% и 23,0% в пересчете на абсолютно сухое вещество.

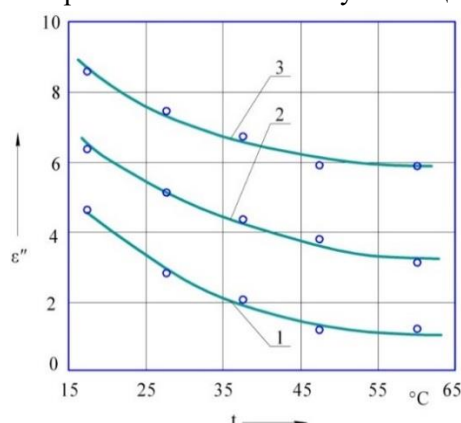


Рисунок 5. Изменение величины коэффициента диэлектрических потерь  $\varepsilon''$  от температуры  $t$  °C в сверхвысокочастотном поле и влажности  $W^c$ , % высушенного жмыха облепихи: 1–7,0%; 2–14,0%; 3–23,0%  
Figure 5. Change in the value of the dielectric loss coefficient  $\varepsilon''$  from the temperature  $t$  °C in the microwave field and humidity  $W^c$ , % of dried sea buckthorn cake: 1 – 7.0%; 2 – 14.0%; 3 – 23.0%

В результате математической обработки экспериментальных данных на компьютере в среде Microsoft Excel было получено эмпирическое уравнение для определения коэффициента диэлектрических потерь  $\varepsilon''$  измельченного сушеного жмыха облепихи:

$$\varepsilon'' = 5,504194 - 0,314878 \cdot t + 0,647321 \times W^c + 0,02905 t^2 - 0,011042 W^{c2} \quad (6)$$

### Обсуждение

Удельная массовая теплоемкость с увеличением влажности жмыха повышается, поскольку доля воды, имеющая теплоемкость гораздо большую по сравнению с сухим остатком и облепиховым маслом в жмыхе.

Коэффициент теплопроводности жмыха облепихи также повышается с увеличением влажности жмыха, вследствие снижения плотности и замещения воздуха в капиллярах сухого остатка молекулами воды.

Скорость прогревания жмыха облепихи также зависит от содержания влаги в нем. Исследования показали, что значения коэффициента температуропроводности для жмыха, имеющего меньшую влажность выше чем для более увлажненного образца.

Установлено, что для всех проведенных измерений величина удельной массовой теплоемкости, коэффициенты теплопроводности и температуропроводности в большей степени зависят от содержания влаги в жмыхе, чем от температуры.

Как видно из рисунка 4, величина коэффициента диэлектрических потерь во многом зависит от влажности, т. е. вода играет важную роль в процессе поглощения энергии при нагреве диэлектрика, а также от содержания масла в жмыхе. Нелинейная зависимость коэффициента диэлектрических потерь от влажности обусловлена разнообразием форм связывания влаги в частицах облепихового жмыха.

При увеличении влажности до 14% наблюдается резкое увеличение коэффициента диэлектрических потерь. Этот диапазон содержания влаги соответствует адсорбционно связанной влаге с высокой энергией удерживания.

В диапазоне влажности от 14 до 23% произошло небольшое увеличение коэффициента диэлектрических потерь с 4,4 до 8,2. Объясняется это тем, что с увеличением количества свободной влаги (макрокапиллярной влаги) при минимальной энергии связи относительная доля прочно связанной влаги в исследуемом материале уменьшается в общем оставшемся объеме.

Согласно данным рисунка 5 уменьшение значения коэффициента диэлектрических потерь с повышением температуры измельченного жмыха облепихи можно объяснить суммарным эффектом увеличения колебаний молекул с повышением температуры, а также активной миграции и перераспределения воды и молекул масла в капиллярах. При нагревании из жмыха удаляется некоторое количество влаги, а масло остается, но поскольку коэффициент диэлектрических потерь его меньше, чем у воды, снижение общего коэффициента диэлектрических потерь протекает не настолько интенсивно. Проводится детальный анализ полученных данных в сопоставлении с данными литературы, что служит обоснованием выводов и заключений авторов.

### Заключение

В результате эксперимента было установлено, что зависимость теплофизических характеристик измельченного высушенного жмыха из облепихи в исследованном температурном диапазоне имеет линейный характер. При этом было отмечено, что на изменение исследуемых характеристик больше влияет влажность жмыха, чем температура.

Измельченные частицы облепихового жмыха представляют собой твердый диэлектрик, диэлектрические свойства которого определяются наличием влаги и радикалов жирных кислот, входящих в состав масла, содержащегося в частицах: пальмитиновой, олеиновой и линолевой.

Характер изменения коэффициента диэлектрических потерь в большей степени зависит от содержания влаги в жмыхе. При этом вид кривых позволяет качественно оценить влияние влаги с различной формой связи с материалом на изменение диэлектрических свойств [9, 10–20].



Таким образом, полученные эмпирические данные теплофизических и электрофизических свойств высушенного измельченного жмыха плодов облепихи позволит создать необходимые

условия для успешного проектирования новых производственных процессов, а также разработки и внедрения инновационных образцов технологического оборудования и управления им.

### Литература

- 1 Ivanišová E., Blašková M., Terentjeva M., Grygorieva O. et al. Biological properties of sea buckthorn (*hippophae rhamnoides* L.) Derived products // Acta Sci. Pol. Technol. Aliment. 2020. № 19(2). P. 195–205. doi: 10.17306/J.AFS.0809
- 2 İlhan G., Gundogdu M., Karlović K., Židovec V. et al. Main Agro-Morphological and Biochemical Berry Characteristics of Wild-Grown Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L. ssp. *caucasica* Rousi) Genotypes in Turkey // Sustainability. 2021. № 13. P. 1198. doi: 10.3390/su13031198
- 3 Tun Aye, Baranov I.V., Krylov V.A., Tambulatova E.V. et al. Thermo-physical properties of avocado form Southeast Asia. // Вестник Международной академии холода. 2020. № 2. С. 60–64. doi:10.17586/1606-4313-2020-19-2-60-64
- 4 Антипов С.Т., Овсянников В.Ю., Корчинский А.А. Исследование процесса охлаждения крови крупного рогатого скота // Вестник ВГУИТ. 2017. Т. 79. № 1. С. 11–14. doi:10.20914/2310-1202-2017-1-11-14
- 5 Цыдендоржиев Б.Д., Цыдендоржиева Г.Р., Шагдыров И.Б., Лабаров Б.Д. и др. Исследование закономерностей изменения теплофизических характеристик влажного материала // Вестник ВСГУТУ. 2017. № 4(67). С. 92–96.
- 6 Božiková M., Hřeš L., Valach M., Malinek M. et al. Basic thermal parameters of selected foods and food raw materials // Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis. 2017. V. 65 (42). № 2. P. 391–400. doi: 10.11118/actaun201765020391
- 7 Жданкин Г.В., Новикова Г.В., Михайлова О.В., Кириллов Н.К. Разработка и обоснование параметров установки для диэлектрического нагрева непивных отходов животного происхождения в непрерывном режиме // Вестник НГИЭИ. 2017. № 2(69). С. 61–71.
- 8 Бузунова М.Ю. Диэлектрические потери при термической обработке дисперсных сред // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2020. № 24(6). С. 1223–1231. doi: 10.21285/1814-3520-2020-6-1223-1231
- 9 Морозов С.М., Калинина М.Н. Электромагнитные методы определения влажности зерна // Аграрный научный журнал. 2020. № 2. С. 81–85. doi: 10.28983/asj.y2020i2pp81-85.
- 10 Aziz S.B., Asnawi A.S.F.M., Kadir M.F.Z., Alshehri S.M. et al. Structural, Electrical and Electrochemical Properties of Glycerolized Biopolymers Based on Chitosan (CS): Methylcellulose (MC) for Energy Storage Application // Polymers. 2021. № 13. 1183. doi: 10.3390/polym13081183
- 11 Zielińska A., Nowak I. Abundance of active ingredients in sea-buckthorn oil // Lipids in health and disease. 2017. V. 16. № 1. P. 1-11. doi: 10.1186/s12944-017-0469-7
- 12 Tudor C., Bohn T., Iddir M., Dulf F.V. et al. Sea buckthorn oil as a valuable source of bioaccessible xanthophylls // Nutrients. 2020. V. 12. № 1. P. 76. doi: 10.3390/nu12010076
- 13 Olas B. Sea buckthorn as a source of important bioactive compounds in cardiovascular diseases // Food and Chemical Toxicology. 2016. V. 97. P. 199-204. doi: 10.1016/j.fct.2016.09.008
- 14 Ciesarová Z., Murkovic M., Cejpek K., Kreps F. et al. Why is sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) so exceptional? A review // Food Research International. 2020. V. 133. P. 109170. doi: 10.1016/j.foodres.2020.109170
- 15 Krejcarová J. et al. Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) as a potential source of nutraceuticals and its therapeutic possibilities-a review // Acta Veterinaria Brno. 2015. V. 84. № 3. P. 257-268. doi: 10.2754/avb201584030257
- 16 Fatima T., Snyder C.L., Schroeder W.R., Cram D. et al. Fatty acid composition of developing sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berry and the transcriptome of the mature seed // PloS one. 2012. V. 7. № 4. P. e34099. doi: 10.1371/journal.pone.0034099
- 17 Christaki E. et al. Hippophae rhamnoides L.(Sea Buckthorn): a potential source of nutraceuticals // Food Public Health. 2012. V. 2. № 3. P. 69-72. doi: 10.5923/j.fph.20120203.02
- 18 Rop O., Ercişli S., Mlecek J., Jurikova T. et al. Antioxidant and radical scavenging activities in fruits of 6 sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) cultivars // Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 2014. V. 38. № 2. P. 224-232.
- 19 Tkacz K., Chmielewska J., Turkiewicz I.P., Nowicka P. et al. Dynamics of changes in organic acids, sugars and phenolic compounds and antioxidant activity of sea buckthorn and sea buckthorn-apple juices during malolactic fermentation // Food Chemistry. 2020. V. 332. P. 127382. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127382
- 20 Nilova L., Malyutenkova S. The possibility of using powdered sea-buckthorn in the development of bakery products with antioxidant properties. 2018. doi: 10.15159/ar.18.055

### References

- 1 Ivanišová E., Blašková M., Terentjeva M., Grygorieva O. et al. Biological properties of sea buckthorn (*hippophae rhamnoides* L.) Derived products. Acta Sci. Pol. Technol. Aliment. 2020. no. 19(2). pp. 195–205. doi: 10.17306/J.AFS.0809
- 2 İlhan G., Gundogdu M., Karlović K., Židovec V. et al. Main Agro-Morphological and Biochemical Berry Characteristics of Wild-Grown Sea Buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L. ssp. *caucasica* Rousi) Genotypes in Turkey. Sustainability. 2021. no. 13. pp. 1198. doi: 10.3390/su13031198
- 3 Tun Aye, Baranov I.V., Krylov V.A., Tambulatova E.V. et al. Thermo-physical properties of avocado form Southeast Asia. Bulletin of the International Academy of Refrigeration. 2020. no. 2. pp. 60–64. doi:10.17586/1606-4313-2020-19-2-60-64
- 4 Antipov S.T., Ovsyannikov V.Yu., Korchinsky A.A. Investigation of the process of cooling the blood of cattle. Proceedings of VSUET. 2017. vol. 79. no. 1. pp. 11–14. doi: 10.20914 / 2310-1202-2017-1-11-14 (in Russian).

- 5 Tsydendorzhiev B.D., Tsydendorzhieva G.R., Shagdyrov I.B., Labarov B.D. Research of regularities of changes in thermophysical characteristics of moist material. *Vestnik VSGUTU*. 2017. no. 4 (67). pp. 92–96. (in Russian).
- 6 Božíková M., Híreš L., Valach M., Malínek M. et al. Basic thermal parameters of selected foods and food raw materials. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2017. vol. 65 (42). no. 2. pp. 391–400. doi: 10.11118/actaun201765020391
- 7 Zhdankin G.V., Novikova G.V., Mikhailova O.V., Kirillov N.K. Development and justification of the parameters of the installation for dielectric heating of non-food waste of animal origin in a continuous mode. *Vestnik NGIEI*. 2017. no. 2 (69). pp. 61–71. (in Russian).
- 8 Buzunova M.Yu. Dielectric losses during heat treatment of dispersed media. *Bulletin of the Irkutsk State Technical University*. 2020. no. 24 (6). pp. 1223–1231. doi: 10.21285 / 1814–3520–2020–6–1223–1231 (in Russian).
- 9 Morozov S.M., Kalinina M.N. Electromagnetic methods for determining grain moisture. *Agrarian scientific journal*. 2020. no. 2. pp. 81–85. doi: 10.28983 / asj.y2020i2pp81-85 (in Russian).
- 10 Aziz S.B., Asnawi A.S.F.M., Kadir M.F.Z., Alshehri S.M. et al. Structural, Electrical and Electrochemical Properties of Glycerolized Biopolymers Based on Chitosan (CS): Methylcellulose (MC) for Energy Storage Application. *Polymers*. 2021. no. 13. 1183. doi: 10.3390/polym13081183
- 11 Zielińska A., Nowak I. Abundance of active ingredients in sea-buckthorn oil. *Lipids in health and disease*. 2017. vol. 16. no. 1. pp. 1–11. doi: 10.1186/s12944-017-0469-7
- 12 Tudor C., Bohn T., Iddir M., Dulf F.V. et al. Sea buckthorn oil as a valuable source of bioaccessible xanthophylls. *Nutrients*. 2020. vol. 12. no. 1. pp. 76. doi: 10.3390/nu12010076
- 13 Olas B. Sea buckthorn as a source of important bioactive compounds in cardiovascular diseases. *Food and Chemical Toxicology*. 2016. vol. 97. pp. 199–204. doi: 10.1016/j.fct.2016.09.008
- 14 Ciesarová Z., Murkovic M., Cejpek K., Kreps F. et al. Why is sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) so exceptional? A review. *Food Research International*. 2020. vol. 133. pp. 109170. doi: 10.1016/j.foodres.2020.109170
- 15 Krejcarová J. et al. Sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) as a potential source of nutraceuticals and its therapeutic possibilities-a review. *Acta Veterinaria Brno*. 2015. vol. 84. no. 3. pp. 257–268. doi: 10.2754/avb201584030257
- 16 Fatima T., Snyder C.L., Schroeder W.R., Cram D. et al. Fatty acid composition of developing sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berry and the transcriptome of the mature seed. *PloS one*. 2012. vol. 7. no. 4. pp. e34099. doi: 10.1371/journal.pone.0034099
- 17 Christaki E. et al. *Hippophae rhamnoides* L. (Sea Buckthorn): a potential source of nutraceuticals. *Food Public Health*. 2012. vol. 2. no. 3. pp. 69–72. doi: 10.5923/j.fph.20120203.02
- 18 Rop O., Ercişli S., Mlcek J., Jurikova T. et al. Antioxidant and radical scavenging activities in fruits of 6 sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) cultivars. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 2014. vol. 38. no. 2. pp. 224–232.
- 19 Tkacz K., Chmielewska J., Turkiewicz I.P., Nowicka P. et al. Dynamics of changes in organic acids, sugars and phenolic compounds and antioxidant activity of sea buckthorn and sea buckthorn-apple juices during malolactic fermentation. *Food Chemistry*. 2020. vol. 332. pp. 127382. doi: 10.1016/j.foodchem.2020.127382
- 20 Nilova L., Malyutenkova S. The possibility of using powdered sea-buckthorn in the development of bakery products with antioxidant properties. 2018. doi: 10.15159/ar.18.055

## Сведения об авторах

**Виталий Ю. Овсянников** д.т.н., профессор, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, ows2003@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9388-6303>

**Наталья Н. Лобачева** к.т.н., доцент, кафедра иностранных языков, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, naloni@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6561-7285>

**Василий В. Торопцев** к.т.н., доцент, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, vsworkmail@bk.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6448-5586>

**Сергей А. Трунов** аспирант, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, truman13@yandex.ru

**Мария А. Лобачева** студент, факультет пищевых машин и автоматов, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, lobatchyovam@mail.ru

## Information about authors

**Vitaly Yu. Ovsyannikov** Dr. Sci. (Engin.), professor, machines and apparatus for food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, ows2003@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-9388-6303>

**Natalja N. Lobacheva** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, foreign languages department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, naloni@mail.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-6561-7285>

**Vasiliy V. Toroptsev** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, machines and apparatus for food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, vsworkmail@bk.ru

 <https://orcid.org/0000-0001-6448-5586>

**Sergei A. Trunov** postgraduate student, machines and apparatus for food production department, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, truman13@yandex.ru

**Mariia A. Lobacheva** student, faculty of food machines and equipment, Voronezh State University of Engineering Technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, lobatchyovam@mail.ru

#### Вклад авторов

**Виталий Ю. Овсянников** написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат  
**Наталья Н. Лобачева** обзор литературных источников по исследуемой проблеме  
**Василий В. Торопцев** консультация в ходе исследования  
**Сергей А. Трунов** обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент  
**Мария А. Лобачева** выполнил расчёты

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Contribution

**Vitaly Yu. Ovsyannikov** wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism  
**Natalja N. Lobacheva** review of the literature on an investigated problem  
**Vasiliy V. Toroptsev** consultation during the study  
**Sergei A. Trunov** review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment  
**Mariia A. Lobacheva** performed computations

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

|                      |                                |                             |
|----------------------|--------------------------------|-----------------------------|
| Поступила 11/04/2021 | После редакции 19/05/2021      | Принята в печать 02/06/2021 |
| Received 11/04/2021  | Accepted in revised 19/05/2021 | Accepted 02/06/2021         |