

Научная статья/Research Article

УДК 537.226.3:664:633.9

DOI: 10.36718/1819-4036-2022-6-156-161

Марина Юрьевна Бузунова

Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, п. Молодежный, Иркутский район, Иркутская область, Россия

bmirk@mail.ru

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЕРЕРАБОТАННЫХ ОТХОДОВ КЕДРОВОГО ПРОМЫСЛА

Цель исследования – изучение энергетических свойств переработанных отходов кедрового промысла на примере измельченной скорлупы кедрового ореха, широко применяемой в настоящее время как в пищевой промышленности, так и в сельском хозяйстве. Задачи: определить зависимость электрофизических показателей и энергетических свойств механоактивированных образцов кедровой скорлупы с разной степенью фракций в широком диапазоне частоты электрического поля. Проведены экспериментальные исследования для образцов с различной степенью измельчения от 1000 до 50 мкм при вариации частоты внешнего электрического воздействия от 50 Гц до 1 КГц. При помощи измерителя иммитанса напряжения Е7-20 и специально сконструированной измерительной ячейки в виде плоского конденсатора получены данные по электрической емкости и проводимости исследуемых образцов, по которым проведен расчет диэлектрической проницаемости, непосредственно влияющей на энергетические свойства вещества. Получена и проанализирована зависимость диэлектрических характеристик (электрической емкости, действительной части диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь) от степени дисперсности исследуемых образцов измельченной кедровой скорлупы. Отмечен факт уменьшения диэлектрических параметров измельченной кедровой оболочки для образцов с размером частиц менее 250 мкм и сглаживания вариаций с ростом частоты. Сделан вывод о влиянии степени измельчения на диэлектрические характеристики и энергетические свойства исследуемой дисперсной среды. Рекомендован оптимальный размер измельчения частиц (около 250 мкм) при переработке кедровой скорлупы в целях экономии энергоресурсов и повышения энергетической ценности продукта.

Ключевые слова: кедр, кедровая скорлупа, энергетические свойства, диэлектрическая проницаемость, диэлькометрия, механоактивация

Для цитирования: Бузунова М.Ю. Электрофизические свойства переработанных отходов кедрового промысла // Вестник КрасГАУ. 2022. № 6. С. 156–161. DOI: 10.36718/1819-4036-2022-6-156-161.

Marina Yurievna Buzunova

Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Yezhevsky, Molodezhny, Irkutsk District, Irkutsk Region, Russia

bmirk@mail.ru

PROCESSED CEDAR WASTE ELECTROPHYSICAL PROPERTIES

The purpose of research is to study the energy properties of processed waste from the cedar industry using the example of crushed pine nut shells, which are currently widely used both in the food industry and in agriculture. Tasks: to determine the dependence of electrophysical parameters and energy properties of mechanically activated samples of cedar shells with different degrees of fractions in a wide range of elec-

© Бузунова М.Ю., 2022

Вестник КрасГАУ. 2022. № 6. С. 156–161.

Bulliten KrasSAU. 2022;(6):156–161.

tric field frequencies. Experimental studies have been carried out for samples with different degrees of grinding from 1000 to 50 μm with a variation in the frequency of external electrical action from 50 Hz to 1 kHz. Using an E7-20 voltage immitance meter and a specially designed measuring cell in the form of a flat capacitor, data were obtained on the electrical capacitance and conductivity of the samples under study, which were used to calculate the permittivity, which directly affects the energy properties of the substance. The dependence of the dielectric characteristics (electric capacitance, real part of the dielectric permittivity and dielectric loss tangent) on the degree of dispersion of the studied samples of crushed cedar shells has been obtained and analyzed. The fact of a decrease in the dielectric parameters of the crushed cedar shell for samples with a particle size of less than 250 μm and a smoothing of variations with increasing frequency is noted. A conclusion is made about the influence of the degree of grinding on the dielectric characteristics and energy properties of the studied disperse medium. The optimal size of particle size reduction (about 250 microns) is recommended for the processing of cedar shells in order to save energy resources and increase the energy value of the product.

Keywords: cedar, cedar shell, energy properties, dielectric permittivity, dielcometry, mechanical activation

For citation: Buzunova M.Yu. Processed cedar waste electrophysical properties // Bulliten KrasSAU. 2022;(6): 156–161. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2022-6-156-161.

Введение. На территории Сибирского федерального округа кедровые деревья занимают сегодня примерно 11,9 % от площади всей лесной зоны и 50 % от всей площади Иркутской области [1]. Урожай кедрового ореха варьирует в зависимости от температурно-влажностного режима и гелиогеофизических условий, влияющих на конфигурацию ионосферных слоев [2]. Поэтому переработка отходов кедрового промысла (шишек и скорлупы кедровых орехов) сегодня весьма актуальна. Богатая микроэлементами кедровая мука, являясь экологически чистой кормовой добавкой с широким диапазоном электрофизических и химических свойств, играет значимую роль в рационе кормления сельскохозяйственных животных, пищевой промышленности и медицинской практике [3]. Экспериментально установлено, что использование в экструзионных технологиях злаковых культур нетрадиционных поликомпонентных смесей зерновых является весьма эффективным способом повышения их питательной ценности, а качественные показатели многокомпонентных экструдированных смесей характеризуются оптимальным содержанием обменной энергии [4, 5]. Поэтому в качестве минерально-витаминной добавки измельченная кедровая скорлупа просто незаменима, так как ее биохимический состав очень богат [3].

Цель исследования – изучение энергетических и электрофизических свойств переработанных отходов кедрового промысла на примере измельченной скорлупы кедрового ореха в

широком частотном диапазоне для образцов с разной степенью фракций.

Задачи: определение оптимального размера частиц механоактивированной кедровой скорлупы в целях полноценного сохранения ее энергетических свойств, экономии энергоресурсов и повышения энергетической ценности продукта.

Объекты и методы. Объектом исследования является скорлупа кедрового ореха, подверженная механоактивации до различной степени фракций. Для эксперимента подготовлено 6 образцов измельченной скорлупы с размерами частиц от 1000 до 50 мкм. Измерение электрической емкости и проводимости проводилось при помощи измерителя иммитанса напряжения E7-20 и специально сконструированной измерительной ячейки в виде плоского конденсатора на экспериментальной установке, схема которой приведена в работах [6, 7] в широком частотном диапазоне от 50 Гц до 1 МГц при комнатной температуре 20 °С и влажности 8 %. Измельченная скорлупа кедрового ореха рассматривалась в качестве сложного по составу полярного диэлектрика, особенности которого можно объяснить вкраплением смол природного происхождения в его структуру. Сложная смесь химически разнородных компонентов с разной диэлектрической проницаемостью влияет в целом на электрофизические свойства исследуемого вещества и итоговую диэлектрическую проницаемость.

В качестве основного метода исследования в работе для изучения энергетических свойств измельченной кедровой скорлупы применялся

метод диэлькометрии, позволяющий оптимально исследовать свойства и структуру вещества [8]. Аналогичные исследования диэлектрических свойств на примере зерновых культур, включая исследование температурной зависимости и рассмотрение возможности появления электрического тока в мелкодисперсной среде при отсутствии внешнего напряжения, проведены в работах [7, 9]. Помещая переработанную при помощи механоактивации кедровую фракцию между пластинами плоского конденсатора, с помощью лабораторной установки [6] проведены измерения для 6 механоактивированных образцов с разной дисперсностью частиц. В работах [10, 11] установлено, что данный способ позволяет повысить энергетические показатели вещества благодаря разрыву ковалентных связей и появлению сколов и трещин, играющих роль энергетических ловушек и активно участвующих в адсорбции влаги веществом.

Результаты и их обсуждение. Полученные в результате эксперимента данные по измерению электрической емкости и проводимости переработанной скорлупы кедрового ореха позволили рассчитать диэлектрическую проницаемость ϵ и диэлектрические потери $\text{tg}\delta$. Установлена зависимость диэлектрической проницаемости, связанной с энергетическими свойствами исследуемой среды, от гранулометрического состава частиц. На рисунке 1 приведена частот-

ная зависимость ϵ от степени измельчения для 6 размеров фракций исследуемого вещества. Четко прослеживается факт монотонного понижения электрофизических показателей с ростом частоты для всех образцов, наиболее явно выраженный для частиц более крупного размера (от 250 мкм и выше). Данный факт противоречит данным исследований в работах [10,11], в которых наибольшие энергетические показатели соответствуют более мелкоразмерным образцам. Очевидно, уменьшение ϵ для более мелкодисперсных образцов можно объяснить наличием достаточно большого количества смол и эфирных масел в скорлупе кедрового ореха, обволакивающих сколы и грани измельченного жмыха и оказывающих выраженное влияние на его энергетические свойства и электропроводность в том числе [12]. Учитывая тот факт, что смола фактически является диэлектриком с очень низкой диэлектрической проницаемостью, автор предполагает, что именно этот фактор является определяющим в понижении диэлектрических характеристик исследуемой среды. Смола покрывает сколы и трещины измельченной скорлупы, препятствуя активному протеканию поляризационных процессов в данной механоактивированной среде, в том числе с ростом частоты внешнего электрического воздействия (например, при сушке).

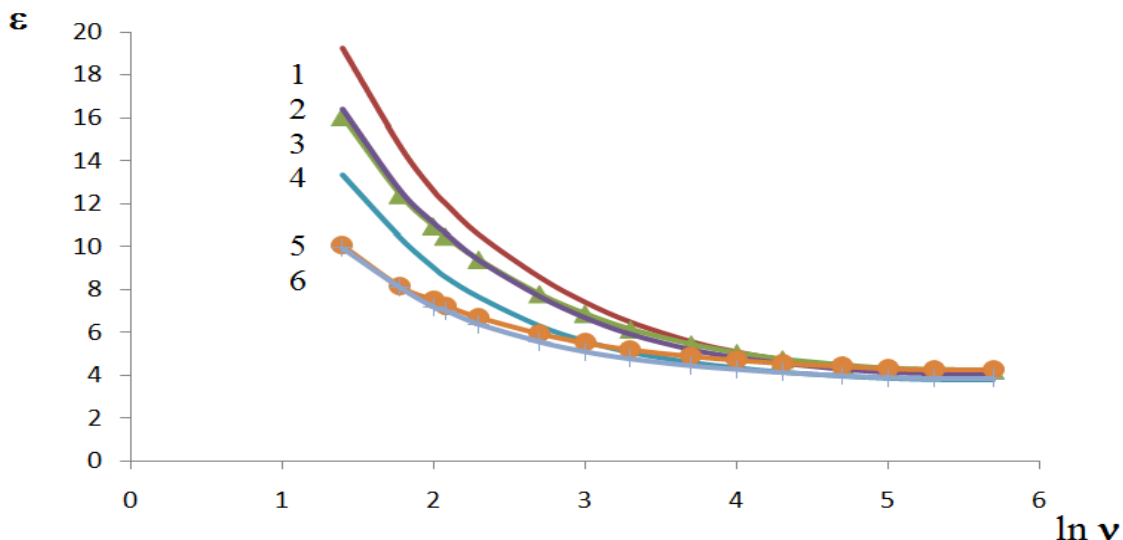


Рис. 1. Зависимость диэлектрической проницаемости кедровой скорлупы от частоты для разного размера частиц: образец 1 – более 1000 мкм; образец 2 – от 500 до 1000; образец 3 – от 250 до 500; образец 4 – от 250 до 100; образец 5 – от 100 до 50; образец 6 – менее 50 мкм

На рисунке 2 приведена экспериментальная зависимость диэлектрических потерь исследуемых образцов переработанной скорлупы кедрового ореха для 6 образцов с разной степенью измельчения в диапазоне частот от 50 Гц до 1 КГц. Анализ полученных результатов позволяет подобрать эффективный энергосберегающий режим в случае необходимости длительного хранения и проведения сушки исследуемого вещества. Установлено, что диэлектрические потери монотонно понижаются с ростом частоты,

при этом следует отметить наиболее явно выраженную зависимость для крупноразмерных образцов с размером частиц более 250 мкм. Данные потери можно объяснить наличием электрической проводимости в среде и постепенно устанавливающейся поляризацией, определяющей нагрев исследуемого образца. Отмеченные вариации (понижение ϵ и $\text{tg}\delta$) с ростом частоты электрического поля можно связать с процессом разрушения ориентации диполей в рассматриваемой гетерогенной среде.

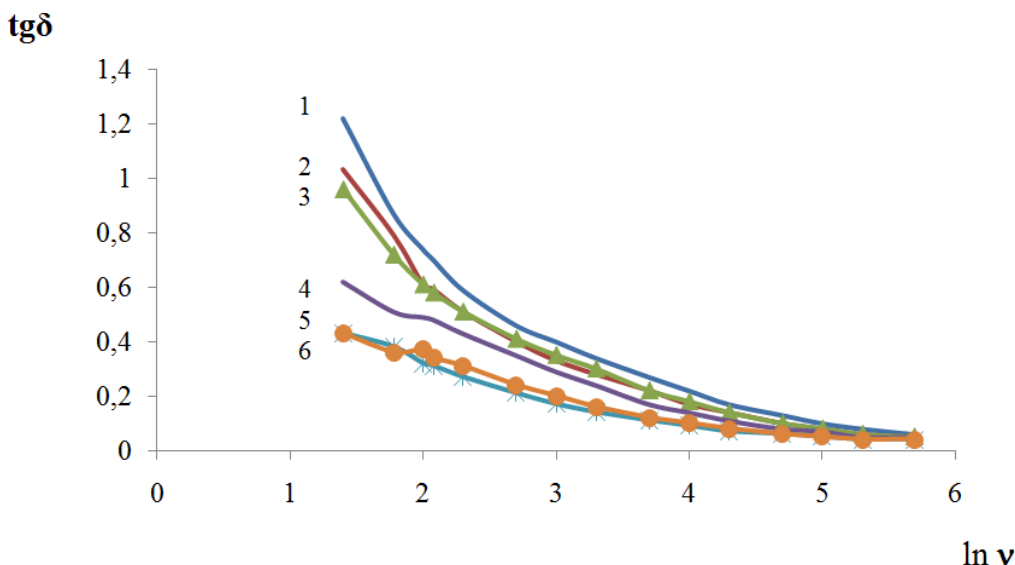


Рис. 2. Зависимость диэлектрических потерь образцов кедровой скорлупы от частоты для разного размера фракций: образец 1 – более 1000 мкм; образец 2 – от 500 до 1000; образец 3 – от 250 до 500; образец 4 – от 250 до 100; образец 5 – от 100 до 50; образец 6 – менее 50 мкм

Заключение. Результаты проведенного эксперимента показали наличие четко выраженной корреляции диэлектрических характеристик переработанной кедровой скорлупы с размером механоактивированных частиц. Энергетические свойства измельченной кедровой оболочки ослабевают при степени измельчения частиц менее 250 мкм и сглаживаются с ростом частоты.

Таким образом, при переработке отходов кедрового промысла (скорлупы кедровых орехов) в целях экономии энергоресурсов и повышения энергетической ценности продукта достаточно измельчить скорлупу до среднего размера частиц около 250 мкм, если это не противоречит техническим условиям переработки и требованиям при изготовлении необходимой продукции.

Список источников

1. Бех И.А. Перспективы освоения ресурсов кедрового ореха в лесах Сибири // Журнал Сибирского федерального университета. Сер. Биология. 2008. Т. 1, № 4. С. 414–421.
2. Бузунова М.Ю., Суходольская В.Е., Ивельская М.К. Пространственно-временные вариации вероятности существования и степени развития слоя F1 // Исследования по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца. 1986. № 75. С. 54–58.
3. Епифанов А.Д., Лукина Г.В. Обработка отходов кедрового промысла ИК-излучением // Вестник КрасГАУ. 2019. № 10. С.168–174.
4. Анализ энергетической ценности экструдатов на основе зерна пшеницы и картофе-

- ля / И.А. Чаплыгина [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2017. № 5 (128). С. 90–95.
5. Матюшев В.В., Чаплыгина И.А., Семенов А.В. Использование четырехкомпонентных смесей с предварительным проращиванием рапса в экструзионных технологиях // Вестник КрасГАУ. 2021. № 6 (171). С. 130–135.
 6. Buzunova M.Y., Bonnet V.V. Dielectric losses of mechanically activated grain crops during heat treatment // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 548. DOI: 10.1088/1755-1315/548/5/052063.
 7. Buzunova M.Yu., Bonnet V.V. Temperature condition influence analysis on the mechanoactivated wheat dielectric constant // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1515. DOI: 10.1088/1742-6596/1515/2/022042.
 8. Исследование диэлектрических свойств электретов на основе эпоксидных полимеров / Н.А. Лимаренко [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. 2013. Т. 16, № 2. С. 126–128.
 9. Buzunova M.Yu., Bonnet V.V. Mechanism of thermally stimulated current occurrence in fine heterogeneous medium on the example of grain crops // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 421. DOI: 10.1088/1755-1315/421/5/052032.
 10. Peculiarities of the accumulation and transport of electret charges in fine-sized disordered structures due to internal voltage / A.B. Tanaev [et al.] // Technical Physics. The Russian Journal of Applied Physics. 2017. Vol. 62-3. P. 406–412.
 11. Бузунова М.Ю. Анализ температурно-частотного воздействия на диэлектрические потери в зерновой среде // Polytech Journal. 2021. Т. 25, № 6. С. 733–740. DOI: 10.21285/1814-3520-2021-6-733-740 (дата обращения: 21.01.2022).
 12. The Application of Carbon Nanotubes for Enhancement of the Epoxy Thermo-electret Properties / A.G. Bannov [et al.] // Proceedings of IFOST-2016. 11th International Forum on Strategic Technology IFOST-2016. 2016. P. 22–25. DOI: 10.1109/IFOST.2016.7884089.
- ### References
1. Bekh I.A. Prospects for the development of pine nut resources in the forests of Siberia // Journal of the Siberian Federal University. Series: Biology. 2008. Vol. 1 no 4. S. 414–421.
 2. Buzunova M.Yu., Sukhodolskaya V.E., Ivelskaya M.K. Spatial and temporal variations of the probability of the existence and degree of development of the F1 layer // Research on geomagnetism, aeronomy and solar physics. 1986. №. 75. S. 54–58.
 3. Epifanov A.D., Lukina G.V. Processing of cedar fishery waste by IR radiation // Bulletin of KrasGAU. 2019. № 10. S.168–174.
 4. Analysis of the energy value of extrudates based on wheat and potato grains / I.A. Chaplygina [i dr.] // Bulletin of the KrasGAU. 2017. №. 5 (128). pp. 90–95.
 5. Matyushev V.V., Chaplygina I.A., Semenov A.V. The use of four-component mixtures with pre-germination of rapeseed in extrusion technologies // Bulletin of KrasGAU. 2021. № 6 (171). S. 130–135.
 6. Buzunova M.Y., Bonnet V.V. Dielectric losses of mechanically activated grain crops during heat treatment // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 548. DOI: 10.1088/1755-1315/548/5/052063.
 7. Buzunova M.Yu., Bonnet V.V. Temperature condition influence analysis on the mechanoactivated wheat dielectric constant // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1515. DOI: 10.1088/1742-6596/1515/2/022042.
 8. Investigation of dielectric properties of electretes based on epoxy polymers / N.A. Limarenko [i dr.] // Bulletin of Kazan Technological University. 2013. Vol. 16, no. 2. S. 126–128.
 9. Buzunova M.Yu., Bonnet V.V. Mechanism of thermally stimulated current occurrence in fine heterogeneous medium on the example of grain crops // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 421. DOI: 10.1088/1755-1315/421/5/052032.
 10. Peculiarities of the accumulation and transport of electret charges in fine-sized disordered structures due to internal voltage / A.B. Tanaev [et al.] // Technical Physics. The Russian

- Journal of Applied Physics. 2017. Vol. 62-3. P. 406–412.
11. *Buzunova M.Yu.* Analysis of temperature-frequency effects on dielectric losses in grain medium // *Polytech Journal*. 2021. Vol. 25, № 6. S. 733–740. DOI: 10.21285/1814-3520-2021-6-733-740 (data obrascheniya: 21.01.2022).
12. The Application of Carbon Nanotubes for Enhancement of the Epoxy Thermoelectret Properties / A.G. Bannov [et al.] // *Proceedings of IFOST-2016. 11th International Forum on Strategic Technology IFOST-2016*. 2016. P. 22–25. DOI: 10.1109/IFOST.2016.7884089.

Статья принята к публикации 07.03.2022 / The article accepted for publication 07.03.2022.

Информация об авторах:

Марина Юрьевна Бузунова¹, доцент кафедры электрооборудования и физики, кандидат физико-математических наук, доцент

Information about the authors:

Marina Yurievna Buzunova, Associate Professor at the Department of Electrical Equipment and Physics, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor

