

Марина Юрьевна Бузунова^{1✉}, Ольга Валентиновна Бондаренко²

^{1,2}Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, пос. Молодежный, Иркутский район, Иркутская область, Россия

¹bmirk@mail.ru

²ovbond@yandex.ru

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЕРЕРАБОТАННЫХ ЗЕРНОВЫХ

Цель исследования – изучение диэлектрических свойств переработанных методом механоактивации зерновых на примере пшеницы, ячменя и овса, широко используемых в агропромышленном комплексе и пищевой промышленности. Задача: выявить взаимосвязь диэлектрических параметров переработанного зерна с его структурными параметрами (размером фракций) в широком диапазоне вариаций внешнего электрического поля от 50 Гц до 1 КГц, что может оказаться полезным при оптимизации технологий переработки зерновых культур и выборе оптимальных условий хранения. Проведена серия экспериментов для образцов пшеницы, овса и ячменя при вариации степени фракций от 50 до 1000 мкм в широком частотном диапазоне. Разработан алгоритм расчета диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь на основе измерений электрической емкости и проводимости при помощи сертифицированного измерителя иммитанса напряжения E7-20 и измерительной ячейки (плоского конденсатора). Проведен анализ вариаций электрической емкости, действительной части диэлектрической проницаемости, электропроводности и тангенса угла диэлектрических потерь от размера частиц зерновых культур. Установлено наличие корреляции диэлектрических свойств переработанного методом механоактивации зерна с размером фракций, наиболее существенной для мелкозернистых образцов с размером частиц не более 250 мкм. Отмечено сглаживание вариаций диэлектрической проницаемости и потерь при возрастании частоты электрического поля более 100 Гц. Экспериментально подтверждено наличие взаимосвязи энергетических свойства исследуемой мелкодисперсной гетерогенной среды со степенью измельчения в исследуемом диапазоне частот. Предложен оптимальный размер для переработки зерновых, что позволит наряду с экономией энергоресурсов оптимизировать энергетическую ценность, совершенствовать качество продуктов питания и эффективность сельскохозяйственного производства в целом.

Ключевые слова: диэлектрические потери, зерновые, диэлектрическая проницаемость, механоактивация, пшеница, ячмень, овес

Для цитирования: Бузунова М.Ю., Бондаренко О.В. Сравнительный анализ диэлектрических свойств переработанных зерновых // Вестник КрасГАУ. 2023. № 11. С. 277–281. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-11-277-281.

Marina Yurievna Buzunova^{1✉}, Olga Valentinovna Bondarenko²

^{1,2}Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky, pos. Molodezhny, Irkutsk District, Irkutsk Region, Russia

¹bmirk@mail.ru

²ovbond@yandex.ru

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE PROCESSED GRAINS DIELECTRIC PROPERTIES

The purpose of research is to study the dielectric properties of grains processed by mechanical activation using the example of wheat, barley and oats, which are widely used in the agro-industrial complex and the food industry. Objective: to identify the relationship between the dielectric parameters of processed grain and its structural parameters (fraction size) in a wide range of variations in the external electric field from 50 Hz to 1 KHz, which may be useful in optimizing grain processing technologies and choosing optimal storage conditions. A series of experiments was carried out for samples of wheat, oats and barley, varying the degree of fractions from 50 to 1000 μm in a wide frequency range. An algorithm has been developed for calculating dielectric constant and dielectric loss tangent based on measurements of electrical capacitance and conductivity using a certified E7-20 voltage immittance meter and a measuring cell (flat capacitor). An analysis of variations in electrical capacitance, the real part of dielectric constant, electrical conductivity and dielectric loss tangent on the particle size of grain crops was carried out. It has been established that there is a correlation between the dielectric properties of grain processed by mechanical activation and the size of the fractions, which is most significant for small-sized samples with a particle size of no more than 250 microns. A smoothing of variations in dielectric constant and losses was noted as the electric field frequency increased above 100 Hz. The existence of a relationship between the energy properties of the studied fine heterogeneous medium and the degree of grinding in the frequency range under study has been experimentally confirmed. An optimal size for grain processing has been proposed, which will, along with saving energy resources, allow optimizing energy value, improving the quality of food products and the efficiency of agricultural production in general.

Keywords: dielectric losses, grains, dielectric constant, mechanical activation, wheat, barley, oats

For citation: Buzunova M.Yu., Bondarenko O.V. Comparative analysis of the processed grains dielectric properties // Bulliten KrasSAU. 2023;(11): 277–281. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2023-11-277-281.

Введение. Зерно является одним из незаменимых продуктов питания, и его качество играет важную роль в определении потребительской ценности зерновой продукции. Исследование электрофизических свойства злаковых культур, отражающих их структуру и состояние, имеет большое значение для качественной оценки зерна и продуктов его переработки. Сравнительный анализ электрофизических свойств зерновых позволяет исследовать и сопоставить такие характеристики, как электрическая емкость, диэлектрическая проницаемость, электропроводность и тангенс угла диэлектрических потерь. Результаты данного анализа помогают установить связь между структурными особенностями зерна и его физическими свойствами, что может быть полезно при создании новых технологий переработки зерновых культур, позволяющих повысить его энергетическую ценность, или при выборе оптимальных условий его хранения. Различные сорта зерна имеют разную структуру и химический состав, что может отражаться на его электрофизических свойствах. Кроме того, условия выращивания и хранения также могут оказывать влияние на его энергетические характеристики и изменяться в

зависимости от сорта и региона произрастания. В целях повышения питательной ценности зерновых и продуктов их переработки в современной литературе описана важная роль экструзионных технологий злаковых культур (нетрадиционных поликомпонентных смесей зерновых) как эффективного способа повышения их энергетики [1, 2]. Качеству зернового фонда, совершенствованию методик его выращивания, переработки и повышения урожайности зерновых сегодня принадлежит значимая роль. Агроэкологические основы семеноводства и селекции представлены в работе [3], при этом следует отметить значимую роль внедрения в производство актуальных приемов адаптивной агротехники [4]. Что касается урожайности зерновых, следует отметить ее взаимосвязь с вариациями температурно-влажностных и гелиогеофизических условий, определяемых в т. ч. конфигурацией ионосферных слоев [5].

Цель исследования – изучение диэлектрических свойств переработанных методом механической активации зерновых культур на примере пшеницы, овса и ячменя для широкого частотного диапазона при вариации степени измельчения зерна.

Задачи: подбор оптимальной степени фракции для переработки зерновых в целях оптимизации энергетической ценности зерновой продукции, снижения энергозатрат при ее переработке и повышения эффективности сельскохозяйственного производства.

Объекты и методы. Объектом исследования является механоактивированная зерновая фракция пшеницы, овса и ячменя. Использовано районированное зерно, выращенное на опытных полях ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ. Подготовлена серия из 18 образцов: по 6 образцов для каждой культуры с разной степенью фракций (более 1000 мкм; от 500 до 1000; от 250 до 500; от 250 до 100; от 100 до 50; менее 50 мкм). Данные по электрической емкости и электропроводности получены сертифицированным прибором (измерителем иммитанса напряжения E7-20) и измерительной ячейкой в виде плоского конденсатора, в которую засыпалась зерновая фракция. Схема экспериментальной установки представлена в работе [6], частота измерений варьировала в пределах от 50 Гц до 1 МГц при температуре 293 °К и влажности 11,5 %. Измельченная зерновая среда рассматривалась как полярный диэлектрик, особенно-

сти поведения которого можно объяснить процессом формирования упорядоченной ориентации молекул полярных водных пленок, контактирующих с электрически активной поверхностью механоактивированных твердых частиц зерна [7]. Исследование проведено общеизвестным методом диэлькометрии [8, 9], при помощи которого исследована температурно-частотная зависимость диэлектрических параметров зерна в работе [10]. Предлагаемый способ переработки зерна позволяет повысить его энергетические показатели вследствие разрыва в результате механоактивации ковалентных связей в веществе и появления сколов, выполняющих роль энергетических ловушек, активно адсорбирующих влагу.

Результаты и их обсуждение. Данные измерений электрической емкости и электропроводности образцов зерновых культур поступали в базу персонального компьютера для расчета диэлектрических показателей (ϵ – диэлектрической проницаемости и $\text{tg}\delta$ – тангенса угла диэлектрических потерь). На рисунке 1 представлена полученная частотная зависимость диэлектрической проницаемости для образцов разного гранулометрического состава.

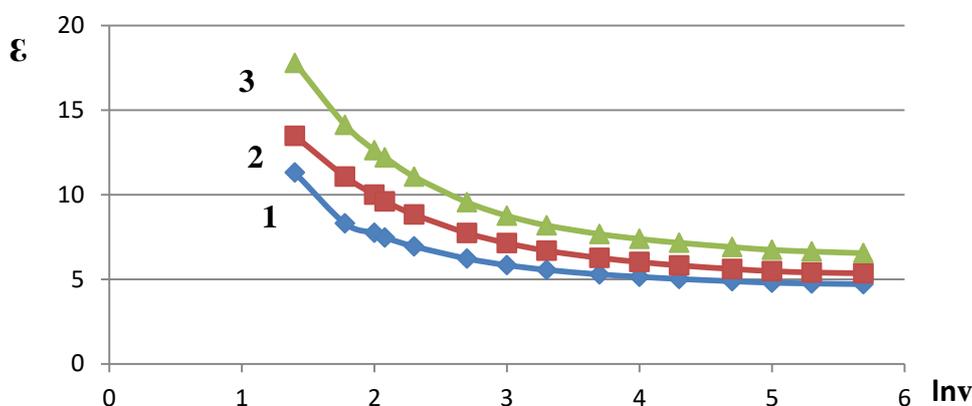


Рис. 1. Частотная зависимость диэлектрической проницаемости зерновых культур для образца с размером частиц от 250 до 500 мкм: образец 1 – пшеница; образец 2 – ячмень; образец 3 – овес

Помимо тенденции к значительному понижению ϵ с ростом частоты (в среднем от 2,5 до 5 раз) следует отметить, что наибольшей энергетической активностью обладает зерно овса. Так, при частоте 50 Гц диэлектрическая проницаемость овса составляет 17,78; ячменя – 13,47, а пшеницы – 11,3. На высоких частотах различия между ϵ существенно сглаживаются. Кроме того, имеет место факт снижения электрофизических

показателей при увеличении размера частиц. На рисунке 2 представлены данные эксперимента по частотной зависимости диэлектрических потерь опытных образцов злаковых культур (пшеницы, ячменя и овса) для образца с размером частиц менее 50 мкм в диапазоне от 50 Гц до 1 КГц. Установлено, что диэлектрические потери монотонно понижаются с ростом частоты, при этом следует отметить наиболее высокие значе-

ния для образцов механоактивированного овса. Так, на частоте 50 Гц значение $\text{tg } \delta$ составляет 1,12 для овса; 0,64 для ячменя и 0,44 для пшеницы. На высоких частотах разница в диэлектрических потерях сглаживается, понижение значе-

ния параметров $\text{tg } \delta$ и ϵ можно объяснить процессом потери диполями ориентации под воздействием поля высокой частоты, влияющего на структуру вещества в мелкодисперсной гетерогенной зерновой среде.

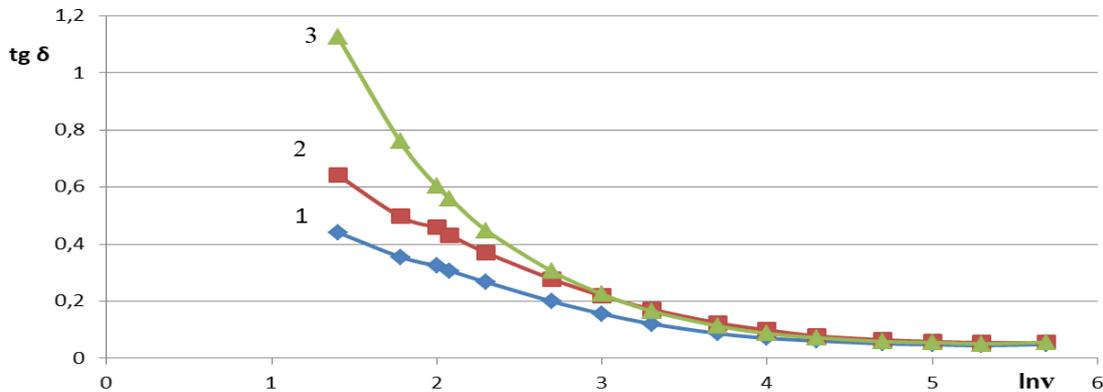


Рис. 2. Частотная зависимость диэлектрических потерь зерновых культур для образца с размером частиц менее 50 мкм: образец 1 – пшеница; образец 2 – ячмень; образец 3 – овес

Заключение. Анализ данных эксперимента подтверждает наличие корреляции энергетических свойств исследуемой мелкодисперсной гетерогенной среды на основе зерновых культур со степенью измельчения в широком диапазоне частот. Диэлектрические характеристики зерна наиболее значимы для образцов с наименьшим размером фракций, оптимальным размером для переработки зерновых является мелкий помол, что позволяет оптимизировать энергетическую ценность и совершенствовать качество продуктов питания. Проведенный анализ диэлектрических потерь может оказаться полезным для решения актуальных вопросов энергосбережения при хранении, переработке и сушке зерновых.

Список источников

1. Анализ энергетической ценности экструдатов на основе зерна пшеницы и картофеля / И.А. Чаплыгина [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2017. № 5 (128). С. 90–95.
2. 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.
3. Агроэкологические основы селекции и семеноводства полевых культур в Предбайкалье / Ш.К. Хуснидинов [и др.]; Иркут. гос. с.-х. академия; Главное управление сельского хозяйства Иркутской области. Иркутск: Иркут. гос. аграр. ун-т имени А.А. Ежевского, 2005. 415 с.
4. Актуальные приемы адаптивной агротехники полевых культур для устойчивого развития земледелия в Иркутской области: науч.-практ. рекомендации / Н.Н. Дмитриев [и др.]; Иркут. науч.-исслед. ин-т сельского хозяйства; Иркут. гос. аграр. ун-т имени А.А. Ежевского. Иркутск: Мегатрип, 2019. 232 с.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. Nelson S.O. Dielectric spectroscopy in agriculture // Journal of Non-Crystalline Solids. 2005.

- Vol. 351. № 33-36 SPEC. ISS. P. 2940–2944. DOI: 10.1016/j.jnoncrysol.2005.04.081.
9. Будников Д.А., Цымбал А.А. Диэлектрические свойства сельскохозяйственных материалов // Инновации в сельском хозяйстве. 2016. № 3 (18). С. 154–159.
 10. 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.
 1. Analiz `energeticheskoy cennosti `ekstrudatov na osnove zerna pshenicy i kartofelya / I.A. Chaplygina [i dr.] // Vestnik KrasGAU. 2017. № 5 (128). S. 90–95.
 2. Matyushev V.V., Chaplygina I.A., Semenov A.V. Ispol'zovanie chetyrehkomponentnyh smesey s predvaritel'nym proraschivaniem rapsa v `ekstruzionnyh tehnologiyah // Vestnik KrasGAU. 2021. № 6 (171). S. 130–135.
 3. Agro`ekologicheskie osnovy selekcii i semenovodstva polevyh kul'tur v Predbajkal'e / Sh.K. Husnidinov [i dr.]; Irkut. gos. s.-h. Akademiya; Glavnoe upravlenie sel'skogo hozyajstva Irkutskoj oblasti. Irkutsk: Irkut. gos. agrar. un-t imeni A.A. Ezhevskogo, 2005. 415 s.
 4. Aktual'nye priemy adaptivnoj agrotehniki polevyh kul'tur dlya ustojchivogo razvitiya zemledeliya v Irkutskoj oblasti: nauch.-prakt. rekomendacii / N.N. Dmitriev [i dr.]; Irkut. nauch.-issled. in-t sel'skogo hozyajstva; Irkut. gos. agrar. un-t imeni A.A. Ezhevskogo. Irkutsk: Megaprint, 2019. 232 s.
 5. Buzunova M.Yu., Suhodol'skaya V.E., Ivel'skaya M.K. Prostranstvenno-vremennye variacii veroyatnosti suschestvovaniya i stepeni razvitiya sloya F1 // Issledovaniya po geomagnetizmu, a`eronomii i fizike Solnca. 1986. № 75. S. 54–58.
 6. 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.
 7. 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.
 8. Nelson S.O. Dielectric spectroscopy in agriculture // Journal of Non-Crystalline Solids. 2005. Vol. 351. № 33-36 SPEC. ISS. P. 2940–2944. DOI: 10.1016/j.jnoncrysol.2005.04.081.
 9. Budnikov D.A., Cymbal A.A. Di`elektricheskie svoystva sel'skohozyajstvennyh materialov // Innovacii v sel'skom hozyajstve. 2016. № 3 (18). S. 154–159.
 10. 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.

References

Статья принята к публикации 05.10.2023 / The article accepted for publication 05.10.2023.

Информация об авторах:

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

Ольга Валентиновна Бондаренко², профессор кафедры философии, социологии и истории, доктор философских наук, профессор

Information about the authors:

Marina Yurievna Buzunova¹, associate professor at the Departments of Electrical Equipment and Physics, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Docent

Olga Valentinovna Bondarenko², professor at the Departments of Philosophy, Sociology and History, Doctor of Philosophy, Professor