

## Оценка эффективности сушки биоматериала с предварительной обработкой импульсным электрическим полем

Иван А. Шорсткий<sup>1</sup> i-shorstky@mail.ru

Дмитрий А. Худяков<sup>1</sup> dima.khudyakov.1995@mail.ru

<sup>1</sup> Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350042, Россия

**Аннотация.** Переход к эффективной экономике и эффективному производству требует построения основ для развития энергоэффективных технологий и процессов сушки биоматериалов для преобразования их в полезные продукты. Целью данной работы является анализ эффективности предварительной безтемпературной обработки импульсным электрическим полем (ИЭП) в процессе конвективной сушки биоматериалов. Обработка ИЭП проводилась при напряженности поля 2, 4 и 6 кВ/см, количеством импульсов 500, с длительностью одного импульса 50 мкс. На основе данных электропроводности биоматериала до и после обработки ИЭП был определен параметр индекса вскрытых клеток, с максимальным значением 56%, что подтверждает наличие механизма электропорации структуры материала. Процесс сушки представлен с описанием различных математических моделей. Предварительная обработка импульсным электрическим полем при параметрах напряженности 4 и 6 кВ/см и количеством импульсов 500 позволила сократить время сушки на 11–13.8% для значения влажности  $E=0.02$ . Общие временные затраты на процесс сушки снижаются на 20–25 минут. При этом стоит отметить, что общее количество затрачиваемой энергии на предварительную обработку (<150 Вт/кг) по сравнению с энергией, затрачиваемой на сам процесс сушки несоизмеримо мала. Статистический анализ рассмотренных математических моделей показал хорошую сходимость большинства моделей с экспериментальными данными. Рассмотренная технология предварительной безтемпературной обработки ИЭП может обеспечить эффективную переработку биоматериалов в необходимом количестве с получением качественных и безопасных продуктов. Полученные данные кинетики процесса могут использоваться для построения математической модели процесса сушки с применением предварительной электрофизической обработки.

**Ключевые слова:** эффективность, биоматериал, электрофизическая обработка, импульсное электрическое поле, сушка

## Pulsed electric field pre-treatment efficiency analysis in processes of biomaterials drying

Ivan A. Shorstkii<sup>1</sup> i-shorstky@mail.ru

Dmitry A. Khudyakov<sup>1</sup> dima.khudyakov.1995@mail.ru

<sup>1</sup> Kuban State University of Technology, Moskovskaya str., 2, 350072, Russia

**Abstract.** The transition to an efficient economy and efficient production requires building the foundations for the development of energy efficient technologies and the drying of biomaterials to convert them into useful products. The purpose of this work is to analyze the effectiveness of pretreatment with a pulsed electric field (PEF) in the process of convective drying of biomaterials. The PEF was processed with electric field strength of 2, 4 and 6 kV/cm, the number of pulses 500, with a pulse duration of 50  $\mu$ s. Based on the electrical conductivity data of the biomaterial, the index of the disintegration 56% was determined before and after the PEF treatment, which confirms the existence of an electroporation mechanism of the material structure. The drying process is presented with a description of various mathematical models. PEF pre-treatment with the parameters of electric field strength 4 and 6 kV / cm and the number of impulses 500 allowed to reduce the drying time by 13.8% for the value  $E = 0.02$ . Total time spent on the drying process reduced by 20–25 minutes. It should be noted that the total energy spent on PEF pre-treatment (<150 W / kg) compared with the energy spent on the drying process is incommensurably small. Statistical analysis of the considered mathematical models showed good convergence of most models with experimental data. The considered technology of pretreatment of PEF can ensure the effective processing of biomaterials in the required amount to obtain high-quality and safe products. Obtained data of the kinetics process can be used to the mathematical model of the drying process design with the use of preliminary treatment processing.

**Keywords:** efficiency, biomaterial, electrical treatment, pulsed electric field, drying

### Введение

В связи с развитием сопутствующих электрофизических методов точечного воздействия на внутреннюю структуру продовольственных материалов важной задачей является обеспечение эффективной переработки биоматериалов в необходимом количестве с получением качественных и безопасных продуктов.

К процессам предварительной подготовки материала к сушке методами электрофизической обработки можно отнести процессы ультразвукового воздействия [1], СВЧ-обработки [2] и процессы обработки электрическими полями высоких напряжений [3–5], влияющие на внутреннюю структуру материала за счет градиента температур, потенциала и давления.

Для цитирования

Шорсткий И.А., Худяков Д.А. Оценка эффективности сушки биоматериала с предварительной обработкой импульсным электрическим полем // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 49–54. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-49-54

For citation

Shorstkii I.A., Khudyakov D.A. Pulsed electric field pre-treatment efficiency analysis in processes of biomaterials drying. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 49–54. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-49-54

В работе развивается новое перспективное научное направление совершенствования процесса сушки биоматериалов путем порообразования биоматериала за счет предварительного электрофизического воздействия импульсным электрическим полем.

Обработка импульсным электрическим полем (ИЭП) – современная энергоэффективная технология, способствующая процессу электропорации структуры биоматериала. Одним из важных преимуществ обработки ИЭП для процесса сушки является возможность непрерывно в течение длительного времени разрушать структуру мембран клеток без значительного роста температуры. Это достигается кратковременной длительностью импульса в диапазоне нескольких десятков микросекунд. Такая низкая длительность воздействия подчеркивает энергоэффективность процесса в отличие от традиционного электромагнитного нагрева. К основным параметрам обработки ИЭП относят: напряженность поля  $E$  (кВ/см), температуру обработки  $T$  (°C), длительность импульса  $W$  (мкс), число импульсов  $n = \tau f$ , где  $\tau$  – время обработки, с;  $f$  – частота следования импульсов, Гц.

Эффект обработки ИЭП объясняется разрушением мембран клеток, представленных в формате конденсатора, заполненного диэлектрической средой. Цитоплазма и окружающая ее межклеточная среда обладают большей величиной диэлектрической проницаемости, чем клеточная мембрана. Разность между диэлектрическими постоянными на обеих сторонах мембраны способствует появлению трансмембранного потенциала, который приводит к разрушению мембраны клеток.

В традиционном процессе сушки биоматериалов сопровождается высокими временными и энергетическими затратами. При этом качество биоматериала зависит от температурного режима и длительности сушки, как правило, чем выше температура сушки, тем ниже качество получаемого продукта.

Совершенствование процесса сушки с применением короткого по длительности обработки процесса электропорации с помощью ИЭП способствует снижению энергетических затрат и температурного режима.

**Цель работы** – оценка эффективности предварительной обработки ИЭП биоматериалов и установление математической модели для описания процесса сушки.

#### Материалы и методы

В качестве объекта исследования был выбран биоматериал с ярко выраженной клеточной структурой – белый репчатый лук.

Образцы хранились в защищенном от солнца месте при температуре 4 °C до последующего использования. Начальная влажность образцов определялась с помощью сушки в сушильном шкафу при температуре 105 °C и составляла  $85 \pm 3,2\%$ . Материал лука перед обработкой ИЭП достигал комнатной температуры (23 °C), нарезался на образцы, толщиной 5 мм, укладывался в слой и далее поступал в установку с плоскопараллельно расположенными электродами обработки (рис. 1) [5]. На обкладки высоковольтного электрода подавался трапециевидный импульс со скоростью роста 1 кВ/мкс (рис. 1).

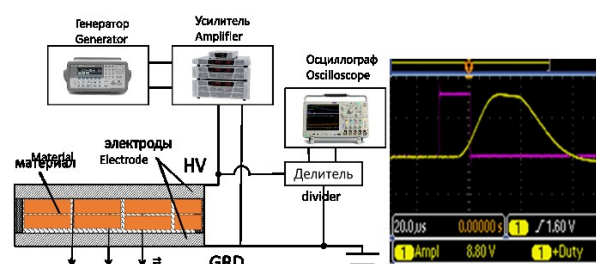


Рисунок 1. Экспериментальная схема обработки ИЭП и осциллограмма характера импульса

Figure 1. Experimental PEF treatment scheme and pulse graph from oscilloscope

#### Обработка ИЭП

Для обработки ИЭП использовалась уникальная установка Matsusada с максимальной амплитудой 20 кВ [5], оснащенная камерой обработки биоматериалов на базе Центра коллективного пользования КубГУ. Установка способна формировать импульсы различной геометрической формы (прямоугольной, импульсной, трапециевидной). Обработка ИЭП проводилась с показателями напряженности электрического поля 2, 4 и 6 кВ/см. Длительность обработки составила 5 с, за которое через структуру материала прошло 500 импульсов длительностью 50 мкс. Данные диапазон режима обработки был взят на основании работ по применению ИЭП к процессам сушки яблок, моркови и красного перца [6–9]. На рисунке 1 показан подаваемый генератором сигнал (прямоугольный) и действительный сигнал обработки материала (трапециевидный). При этом стоит отметить, что угол наклона трапеции увеличивается с ростом влажности и электропроводности материала.

#### Измерение электропроводности

Величина электропроводности образцов измерялась с использованием прецизионного LCR метра 1920 Quadtech (IET LABS, NY, USA) и набора 4-пиновых коннекторов (1700–03 Kelvin Leads) по схеме, представленной на рисунке 2. Анализ электропроводности проводился на базовых значениях частот: 10, 100 Гц, 1, 10, 100 кГц.

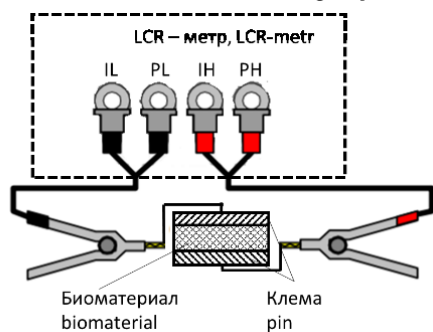


Рисунок 2. Схема измерения электропроводности образца материала

Figure 2. Material conductivity measuring scheme

Импеданс биологического объекта представляет собой создаваемое вдоль домена напряжение, формируемое поступающим в объект переменным током.

Удельная электропроводность биоматериала может быть получена из величины проводимости с помощью уравнения [5]:

$$\sigma = G \cdot l / A,$$

где  $G$  – проводимость, см;  $l$  – толщина, м;  $A$  – площадь образца, м<sup>2</sup>.

Величина вскрытых клеток будет определяться из данных электропроводности:

$$Z = (\sigma - \sigma_i) / (\sigma_d - \sigma_i),$$

где  $\sigma$  – электропроводность образца после обработки;  $\sigma_i$  – начальная электропроводность образца (значение близко к нулю);  $\sigma_d$  – электропроводность максимально разрушенных клеток образцов.

#### Кинетика сушки

Для анализа процесса сушки с предварительной обработкой ИЭП использовался сушильный шкаф с температурой сушки 105 °С. Перед началом эксперимента сушильный шкаф в течение 1 ч выходил на заданный температурный режим. Нарезанные образцы материала массой 60 г загружались в ячейку с перфорированным дном и размещались в сушильной камере. Вес образца регистрировался с помощью электронных весов. Общая длительность процесса сушки составила 8 ч до достижения влажности биоматериала на уровне 2%.

#### Моделирование процесса сушки

Анализ материала, предварительно обработанного ИЭП и необработанного, проводился с использованием моделей сушки в тонком слое [6].

Величина влажности материала определялась по уравнению:

$$E = \frac{M_i - M_R}{M_0 - M_R},$$

где  $M_i$  – масса в любой момент времени, (кг/кг);  $M_R$  – равновесная влажность, (кг/кг);  $M_0$  – начальная влажность материала, (кг/кг).

При этом скорость сушки определялась по уравнению:

$$\omega = \frac{M_{i+\Delta i} - M_i}{\Delta i},$$

где  $M_{i+\Delta i}$  и  $M_i$  – масса в любой момент времени  $i$  и  $\Delta i$ , (кг/кг).

Проанализировано 6 математических моделей сушки для обработанного ИЭП и необработанного тонкого слоя биоматериала, найденных в литературе (таблица 1).

Таблица 1.

Математические уравнения для описания кинетики сушки биоматериала, обработанного ИЭП

Table 1.

Mathematical equations for describing the kinetics of drying biomaterials treated by PEF

Модель Model	Уравнение Equation	Источник Source
Ньютона Newton	$E = \exp(-k \cdot \tau)$	[6]
Page	$E = \exp(-k \cdot \tau^a)$	[7]
Henderson	$E = a \cdot \exp(-k \cdot \tau)$	[8]
Logarithmic	$E = a \cdot \exp(-k \cdot \tau) + b$	[9]
Midilli	$E = a \cdot \exp(-k \cdot \tau^c) + b \cdot \tau$	[10]
Двух стадийная Two-stage	$E = a \cdot \exp(-k \cdot \tau) + b \cdot \exp(-k_i \cdot \tau)$	[11]

Для подбора математической модели использовался регрессионный анализ. Модель с наибольшими значениями  $R^2$ , RMSE (средняя квадратичная ошибка) и CRV (коэффициент остаточной вариации) считалась наиболее адекватной [12]:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (E_{i,p} - E_p)^2}{\sum_{i=1}^N (E_{i,e} - E_p)^2},$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (E_{i,p} - E_{i,e})^2}{N}},$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (E_{i,p} - E_{i,e})^2}{N - o},$$

$$CRV = 100 \cdot \frac{\sqrt{\chi^2}}{Y}.$$

В данных уравнениях  $E_{i,p}$  – безразмерный показатель влажности;  $E_{i,e}$  – экспериментальное безразмерное значение влажности;  $E_p$  – средняя безразмерная влажность;  $N$  – количество замеров;  $o$  – число констант в уравнении;  $Y$  – среднее значение  $E$ .

### Результаты и обсуждение

Кинетические закономерности сушки биоматериала представлены на рисунке 3 и 5.

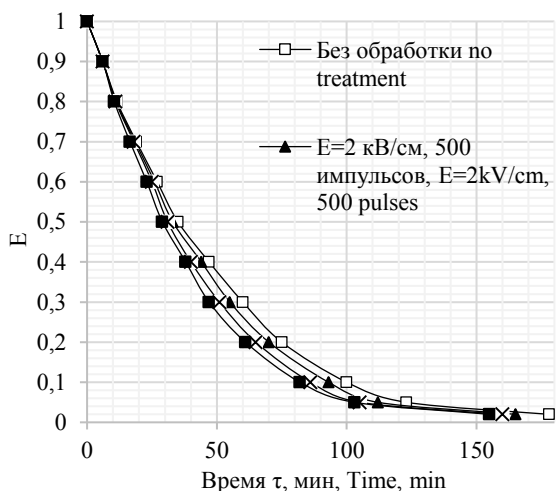


Рисунок 3. Кривая сушки для образцов без и после ИЭП обработки

Figure 3. Drying curve for samples without and after PEF treatment

Из опытных данных, полученных на экспериментальной установке, следует, что при сушке предварительно обработанного биоматериала наблюдаются незначительные периоды прогрева и период падающей скорости сушки.

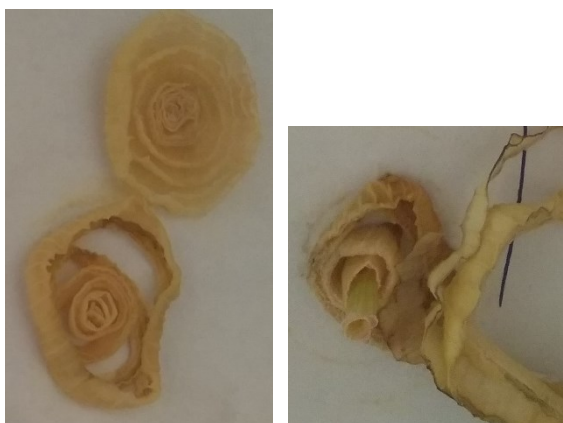


Рисунок 4. Необработанный (слева) и обработанный ИЭП материал (справа)

Figure 4. Treated (left) and untreated material (right)

Материал после обработки обладает более ярким, насыщенным цветом, имеет более гибкую структуру (рисунок 4).

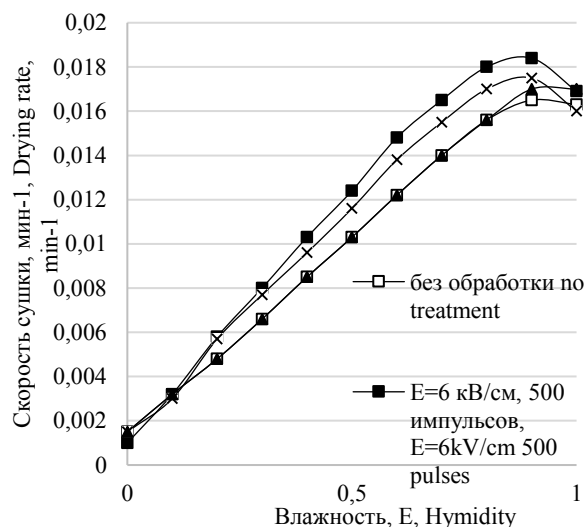


Рисунок 5. Кривая скорости сушки для образцов без и после ИЭП обработки

Figure 5. Drying rate curve for samples without and after PEF treatment

Необходимо отметить, что предварительная обработка ИЭП положительно влияет на процесс сушки. Процесс высушивания биоматериала до  $E = 0,02$  составил порядка 180 мин, тогда как обработанные ИЭП образцы достигли данного показателя при значениях времени 155–160 мин. Данный факт означает, что обработка позволила сократить время сушки на 11,0–13,8%. Как известно, сокращение времени затрат напрямую связано с энергопотреблением (рисунок 6).

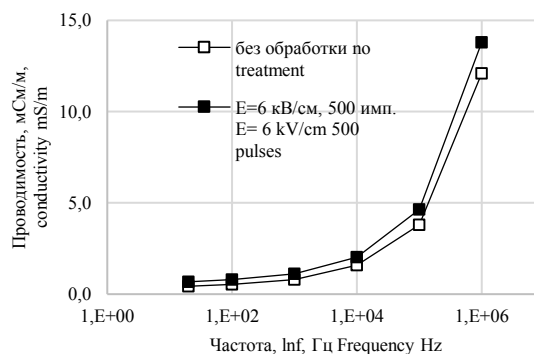


Рисунок 6. Изменение электропроводности от логарифма частоты до и после обработки ИЭП

Figure 6. Conductivity from frequency dependence before and after PEF treatment

С одной стороны, явление электропорации, наблюдаемое в процессе обработки материала, положительно влияет на процесс сушки, а с другой, если количество вскрытых клеток больше, чем при стандартном процессе сушки,  $Z_{ИЭП} = 56 > Z$ , это может привести к снижению скорости сушки в зоне  $0,02 < E < 0,1$  как показано на рисунке 4.

Выбор математической модели позволяет прогнозировать процесс. Это необходимый инструмент определения оптимальных условий проведения процесса сушки. Математическое моделирование показало высокую схожесть большинства рассмотренных моделей. Статистические данные значений  $R^2$ , RSME и CVR находятся в диапазоне 0,977–0,999, 0,0026–0,0422 и 0,00001–0,00181 (таблица 2). Анализ указанных значений позволил установить, что модель Midili (таблица 1) является наиболее схожей с экспериментальными данными.

Таблица 2.  
Статистический анализ результатов

Table 2.  
Statistical analysis of results

Образец Sample	$R^2$	RSME	$\chi^2$	CRV,%
Без обработки No treatment	0,999	0,0053	0,00003	1,83
$E = 2$ кВ/см, 500 имп., 500 pulses	0,998	0,0056	0,00003	1,85
$E = 4$ кВ/см, 500 имп., 500 pulses	0,999	0,0038	0,00001	1,39
$E = 6$ кВ/см, 500 имп., 500 pulses	0,997	0,0026	0,00001	0,96

Анализ кривой скорости сушки показывает, что сушка образца без и после обработки ИЭП проходит в две стадии. Первая, наибольшая по длительности стадия, отмечена для образца с обработкой  $E = 3$  кВ/см. В начале процесса скорость сушки практически одинакова для образцов без и после обработки и составляла порядка 0,0168 и 0,0178 мин<sup>-1</sup>. Максимальная скорость сушки образца без обработки была отмечена после нескольких минут начала процесса при значении  $E$  более 0,85, в то время как у образца после обработки значение

$E = 0,89$ . Увеличение скорости сушки на данном этапе может быть вызвано процессом электропорации и выделением воды из структуры клетки во внешнюю среду и ее ускоренным извлечением.

При оценке результатов процесса сушки биоматериалов, кроме энергетических затрат, важными являются факторы, затрагивающие безопасность и качество продукта, которые являются функцией состояния (температура, влажность, состав и др.) биоматериала. Процесс сушки многих биоматериалов является по существу переносом энергии и влажности в деформируемой пористой среде. В последующих работах по изучению предварительной электрофизической обработки будет построена математическая модель и проведено моделирование переноса теплоты и влаги в деформируемом биоматериале после электрофизической обработки, а также построена камера предварительной обработки на основе работы [13].

#### Заключение

Предварительная обработка ИЭП рассматривалась как метод улучшения процесса сушки лука. Использование обработки ИЭП способствовало сокращению времени сушки на 11,0–13,8% по сравнению с сушкой материала без обработки. В ходе исследования было выявлено, что величина электропроводности материала может выступать в роли параметра для определения параметра диффузии. Из анализа подбора эмпирических уравнений модели сушки обработанных ИЭП и необработанных материалов лука наиболее схожей оказалась модель Midili. Таким образом, предварительная обработка ИЭП может выступать в роли подготовительного этапа в процессах переработки растительных материалов на стадии сушки.

#### Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-38-00448.

#### ЛИТЕРАТУРА

1 Хмелев В.Н., Шалунов А.В., Барсуков Р.В., Цыганок С.Н. и др. Исследование эффективности ультразвуковой сушки // Техническая акустика. 2009. Т. 9. № 9.  
2 Schulze B., Hubbermann E.M., Schwarz K. Stability of quercetin derivatives in vacuum impregnated apple slices after drying (microwave vacuum drying, air drying, freeze drying) and storage // LWT-Food Science and Technology. 2014. V. 57. № 1. P. 426–433.  
3 Шорсткий И.А., Кошевой Е.П. Экстракция с наложением импульсного электрического поля // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2015. № 4 (346). С. 40–42.

4 Wiktor A., Iwaniuk M., Sledz M., Nowacka M. et al. Drying kinetics of apple tissue treated by pulsed electric field // Drying Technology. 2013. V. 31. № 1. P. 112–119.  
5 Shorstkii I., Mirshekarloo M.S., Koshevoi E. Application of pulsed electric field for oil extraction from sunflower seeds: electrical parameter effects on oil yield // Journal of Food Process Engineering. 2017. V. 40. № 1. doi:10.1111/jfpe.12281  
6 Wiktor A., Witrowa-Rajchert D., Chudoba T. The influence of pulsed electric field on electrical conductivity and cell disintegration index of apple tissue // Problematic Journals of Agricultural Sciences. 2012. V. 569. P. 293–300.

7 Shynkaryk M.V., Lebovka N.I., Vorobiev E. Pulsed electric field and temperature effects on drying and rehydration of red beetroots // *Drying Technology*. 2008. V. 26. P. 696–704.

8 Gachovska T.K., Simpson M.V., Ngadi M.O., Raghavan G.S.V. Pulsed electric field treatment of carrots before drying and rehydration // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2009. V. 89. № 14. P. 2372–2376. doi: 10.1002/jsfa.3730

9 Grimi N., Mamouni F., Lebovka N., Vorobiev E. et al. Acoustic impulse response in apple tissues treated by pulsed electric field // *Biosystems Engineering*. 2010. № 105 (2). P. 266–272. doi:10.1016/j.biosystemseng.2009.11.005

10 Wiktor A., Iwaniuk M., Sledz M., Nowacka M. et al. Drying kinetics of apple tissue treated by pulsed electric field // *Drying Technology*. 2013. № 31. P. 112–119.

11 Witrowa-Rajchert D. Non-thermal preservation techniques used in production of designed food // *Designed Food*. PTTZ: Krakow, Poland, 2011. P. 186–205.

12 *Chemical and Functional Properties of Food Components*; edited by Z.E. Sikorski. Boca Raton: CRC Press, 2007. 544 p.

13 Пат. 164195, RU, B01D 11/02 (2006.01). Устройство для экстрагирования сырья / Шорсткий И.А., Кошевой Е.П. № 2015147072/05; Заявл. 2015147072; Опубл. 20.08.2016, Бюлл. №23.

#### REFERENCES

1 Hmelev V.N., SHalunov A.V., Barsukov R.V., Cyganok S.N. et al. Ultrasonic drying efficiency study. *Tekhnicheskaya akustika* [Technical acoustic]. 2009. no. 9. pp. 9. (in Russian).

2 Schulze B., Hubermann E.M., Schwarz K. Stability of quercetin derivatives in vacuum impregnated apple slices after drying (microwave vacuum drying, air drying, freeze drying) and storage. *LWT-Food Science and Technology*. 2014. vol. 57. no. 1. pp. 426–433.

3 Shorstkii I.A., Koshevoi E.P. Extraction with imposing of pulsed electric field. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Pishhevaja tehnologija* [News institutes of higher Education. Food technology]. 2015. no. 4. pp. 40–42. (in Russian).

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Иван А. Шорсткий** к.т.н., доцент, кафедра технологического оборудования и систем жизнеобеспечения, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Россия, i-shorstky@mail.ru

**Дмитрий А. Худяков** магистр, кафедра технологического оборудования и систем жизнеобеспечения, Кубанский государственный технологический университет, ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Россия, dima.khudyakov.1995@mail.ru

#### КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

**Иван А. Шорсткий** написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несёт ответственность за плагиат

**Дмитрий А. Худяков** обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провёл эксперимент, выполнил расчёты

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 20.09.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 15.11.2018

4 Wiktor A., Iwaniuk M., Sledz M., Nowacka M. et al. Drying kinetics of apple tissue treated by pulsed electric field. *Drying Technology*. 2013. vol. 31. no. 1. pp. 112–119.

5 Shorstkii I., Mirshekarloo M.S., Koshevoi E. Application of pulsed electric field for oil extraction from sunflower seeds: electrical parameter effects on oil yield. *Journal of Food Process Engineering*. 2017. vol. 40. no. 1. doi:10.1111/jfpe.12281

6 Wiktor A., Witrowa-Rajchert D., Chudoba T. The influence of pulsed electric field on electrical conductivity and cell disintegration index of apple tissue. *Problematic Journals of Agricultural Sciences*. 2012. vol. 569. pp. 293–300. (in Polish).

7 Shynkaryk M.V., Lebovka N.I., Vorobiev E. Pulsed electric field and temperature effects on drying and rehydration of red beetroots. *Drying Technology*. 2008. vol. 26. pp. 696–704.

8 Gachovska T.K., Simpson M.V., Ngadi M.O., Raghavan G.S.V. Pulsed electric field treatment of carrots before drying and rehydration. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2009. vol. 89. no. 14. pp. 2372–2376. doi: 10.1002/jsfa.3730

9 Grimi N., Mamouni F., Lebovka N., Vorobiev E. et al. Acoustic impulse response in apple tissues treated by pulsed electric field. *Biosystems Engineering*. 2010. no. 105 (2). pp. 266–272.

10 Wiktor A., Iwaniuk M., Sledz M., Nowacka M. et al. Drying kinetics of apple tissue treated by pulsed electric field. *Drying Technology*. 2013. no. 31. pp. 112–119.

11 Witrowa-Rajchert D. Non-thermal preservation techniques used in production of designed food. *Designed Food*. PTTZ, Krakow, Poland, 2011. pp. 186–205. (in Polish).

12 *Chemical and Functional Properties of Food Components*; edited by Z.E. Sikorski. Boca Raton, CRC Press, 2007. 544 p.

13 Shorstkii I.A., Koshevoi E.P. Ustrojstvo dlya ehkstragirovaniya syr'ya [Device for material extraction]. Patent RF, no. 164195, 2016.

#### INFORMATION ABOUT AUTHORS

**Ivan A. Shorstkii** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, technical equipment and life-support systems department, Kuban State University of Technology, Moskovskaya st., 2 Kranodar, 350072, Russia, i-shorstky@mail.ru

**Dmitry A. Khudyakov** master student, technical equipment and life-support systems department, Kuban State University of Technology, Moskovskaya st., 2 Kranodar, 350072, Russia, dima.khudyakov.1995@mail.ru

#### CONTRIBUTION

**Ivan A. Shorstkii** wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism

**Dmitry A. Khudyakov** review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment, performed computations

#### CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 9.1.2018

ACCEPTED 11.15.2018