



Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interests

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL ARTICLE

Оценка гидродинамических течений клеточной жидкости в искусственно сформированных континуумах структуры растительных материалов

Максим Д. Соснин*, Иван А. Шорсткий

Лаборатория передовых электрофизических технологий и новых материалов, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет»; ул. Московская, д. 2, г. Краснодар, 350072, Российская Федерация

Аннотация. Цель. Целью работы является оценка гидродинамических течений клеточной жидкости в искусственно сформированных каналах структуры растительных материалов в результате воздействия атмосферного искрового разряда. В работе приводятся некоторые особенности течения клеточной жидкости в искусственно сформированных каналах растительных материалов после прохождения атмосферного искрового разряда. Для их описания используются выражения гидродинамики идеализированных физических моделей. В качестве подтверждения получаемых данных поставлена экспериментальная часть.

Методы. В данной работе рассматривается случай, когда исходный растительный материал предварительно обрабатывают искровым разрядом, от воздействия которого в структуре материала возникает новый континуум в виде сквозного индуцированного канала. Для электрически индуцированных каналов приводятся выражения времени вытекания внутриклеточной жидкости и мощности давления, основанные на законе Пуазейля. Экспериментальная часть работы включает проведение обработки искровым разрядом растительного материала – морковь, нарезанной на диски диаметром 24 мм и толщиной 3 и 9 мм для определения зависимости количества выделившейся клеточной жидкости от длительности эксперимента и режима тока разряда.

Результаты. Установлено, что обработка атмосферным искровым разрядом способствует формированию новых континуумов в структуре растительных материалов. С увеличением интенсивности обработки увеличивается площадь следа влаги от морковного диска и как следствие количество выделившейся внутриклеточной жидкости. Для наглядности экспериментов представлены графики зависимости интенсивности обработки от количества выделившейся жидкости, приведены соответствующие выражения.

Заключение. Полученные экспериментальные данные и зависимости будут полезны при рассмотрении более сложных процессов массопереноса в капиллярно-пористых телах с применением предварительной электрофизической обработки.

Ключевые слова: гидродинамическое течение, электрически индуцированный канал, капилляр, растительный материал, электрофизическая обработка

Благодарности. «Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда, ФГБОУ ВО «КубГТУ» в рамках научного проекта № МФИ-П-20.1/40»

Для цитирования: Соснин М.Д., Шорсткий И.А. Оценка гидродинамических течений

клеточной жидкости в искусственно сформированных континуумах структуры растительных материалов. *Новые технологии / New technologies*. 2023; 19 (2): 72-82. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2023-19-2-72-82>

Evaluation of hydrodynamic flows of cellular fluid in artificially formed continuums of plant material structure

Maxim D. Sosnin, Ivan A. Shorstky

*Laboratory of Advanced Electrophysical Technologies and New Materials,
FSBEI HE «Kuban State Technological University»;
2 Moskovskaya str., Krasnodar, 350072, the Russian Federation*

Abstract. *Aim.* The aim of the research is to evaluate hydrodynamic flows of cellular fluid in artificially formed channels of the structure of plant materials as a result of exposure to atmospheric spark discharge. The article presents some features of the flow of cellular fluid in artificially formed channels of plant materials after passing an atmospheric spark discharge. Expressions of hydrodynamics of idealized physical models are used to describe them. As a confirmation of the received data, the experimental part has been set.

The Methods. The authors consider the case when the initial plant material is pre-treated with a spark discharge; its influence arises a new continuum in the structure of the material in the form of a through-induced channel. Expressions of intracellular fluid outflow time and pressure power based on Poiseuille's law are given for electrically induced channels. The experimental part of the work includes spark discharge treatment of plant material – carrots cut into discs with a diameter of 24 mm and a thickness of 3 and 9 mm to determine the dependence of the amount of released cellular fluid on the duration of the experiment and the discharge current mode.

The Results. It has been established that atmospheric spark discharge treatment contributes to the formation of new continuums in the structure of plant materials. With an increase in the intensity of treatment, the area of the moisture trace from the carrot disk increases and, as a result, the amount of released intracellular fluid. For the sake of clarity of the experiments, graphs of the dependence of the processing intensity on the amount of liquid released have been presented, corresponding expressions given.

Conclusion. The obtained experimental data and dependencies will be useful when considering more complex mass transfer processes in capillary-porous bodies using preliminary electrophysical processing.

Keywords: hydrodynamic flow, electrically induced channel, capillary, plant material, electrophysical processing

Funding. The research is carried out with the financial support of the Kuban Science Foundation, FSBEI HE «KubSTU» in the framework of the scientific project Num. MFI-P-20.1/40

For citation: Sosnin M.D., Shorstky A.I. Evaluation of hydrodynamic flows of cellular fluid in artificially formed continuums of plant material structure. *Novye tehnologii / New technologies*. 2023; 19 (2): 72-82. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2023-19-2-72-82>

Введение

Использование электрофизических методов обработки пищевого сырья в качестве средств интенсификации тепло-массообменных процессов является

перспективным направлением развития пищевой и перерабатывающей промышленности [1 - 3]. Не смотря на широкое развитие электрофизических технологий

в области энергетики, пищевая промышленность в данном направлении практически не рассмотрена [4]. Данный факт вызван рядом ограничений: необходимость работы с термолабильным пищевым сырьем, неоднородность пищевого материала, а также разнообразие геометрии и физических параметров пищевого сырья в зависимости от стадии переработки. Дополнительно, к примеру, технология обработки низкотемпературной плазмой (коронным разрядом) демонстрирует ряд ограничений, связанных с необходимостью подбора оптимальных режимных характеристик для каждой конкретной установки с её геометрическими размерами [5]. Обработка импульсным электрическим полем требует высокого содержания слюги или проводящей среды [6].

Наиболее перспективным методом представляется обработки атмосферным искровым разрядом. При прохождении искрового разряда через поверхность растительного капиллярно-пористого тела (например, ягоды или слайсы фруктов и овощей) эта поверхность подвергается деформации под действием электрических сил [6, 7]. Возникающая деформация вызывает образование нового континуума (канала) в структуре капиллярно-пористого тела. В данном случае искровой разряд распространяясь через структуру материала вызывает эффект электропорации - формирования электрически индуцированных пор на поверхности растительных мембран вдоль силовых линий электромагнитного поля [8, 9]. Следствием такой обработки является формирование искусственного канала и выделение внутриклеточной жидкости на поверхности растительного материала под действием внутриклеточного давления с формированием остаточных углублений в месте прохода искрового разряда.

Как известно наличие углублений на поверхности теплообмена обладает интенсифицирующим действием [10]. При рассмотрении процессов сушки капиллярно-пористых тел тепловым агентом, интенсивный теплообмен способствует ускорению процесса. Благодаря наличию углублений испарение жидкости происходит не на внешней поверхности, а из некоторой глубины (макро – микро капилляра) заполненного клеточной жидкостью.

В настоящей работе приводятся некоторые особенности течения клеточной жидкости в искусственно сформированных каналах растительных материалов после прохождения атмосферного искрового разряда. Для их описания используются выражения гидродинамики идеализированных физических моделей. В качестве подтверждения получаемых данных поставлена экспериментальная часть.

Теория

В данной работе рассматривается случай, когда исходный растительный материал предварительно обрабатывают искровым разрядом, от воздействия которого в структуре материала возникает новый континуум в виде сквозного канала [11].

Для поставленной задачи рассмотрим идеализированную модель, в которой образованный капилляр идеализирован в трубку круглого сечения. Вводится ряд допущений: давление внутри клетки растительного материала связано с температурой капиллярно-пористого тела, а наружное давление считается атмосферным; поток жидкости в капиллярном канале считается ламинарным; зависимостью вязкости от температуры пренебрегаем.

Физическая модель представлена на рисунке 1. После воздействия атмосфер-

ного искрового разряда, представляющего поток заряженных частиц в структуре материала формируется искусственных капилляр, радиус которого зависит от интенсивности обработки. Рассмотрим единичный капилляр радиусом r , образованный в растительном материале толщиной l . Для обозначения внутриклеточного (тургорного) давления

P_1 условно изобразим расширение в средней части капилляра. Капиллярные явления в текущей задаче не учитываются. В поставленной задаче внутриклеточная жидкость будет вытекать на нижней ($x=l$) и верхней ($x=0$) границе канала. Влиянием силы тяжести для сформированного капилляра пренебрегаем.

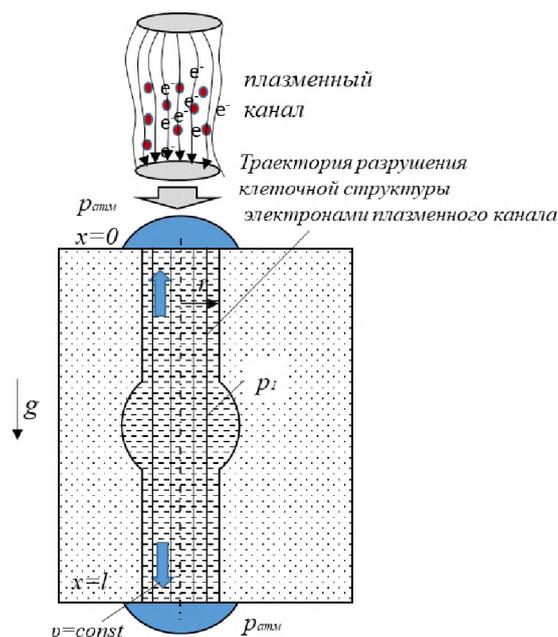


Рис. 1. Схема и параметры системы капля-капилляр после обработки атмосферным искровым разрядом

Fig. 1. Scheme and parameters of the drop-capillary system after treatment with an atmospheric spark discharge

Для определения объема клеточной жидкости протекающей через трубку круглого сечения за время t воспользуемся известным выражением Пуазейля [12]:

$$dV = \frac{\pi r^4}{8\mu} \left| \frac{dP}{dx} \right| dt \quad (1)$$

Градиент давления в любой точке жидкости тоже будет одинаковым и характеризоваться внутриклеточным (тургорным) давлением растительного материала. Величину времени вытекания клеточной жидкости из единичного

канала обработанного материала после интегрирования по длине капилляра в интервале от нуля до физической длины l капиллярного канала и с учетом двустороннего вытекания определим как:

$$t = \frac{8l\mu V_k}{2\pi r^4 (P_1 - P_{атм})} \quad (2)$$

где $P_{атм}$ – Давление на выходе из капилляра равно атмосферному давлению; P_1 – внутриклеточное (тургорное) давление растительного материала, V_k – объем единичного канала в структуре материала.

Время вытекания жидкости из обработанного материала учитывает количество сформированных новых континумов на объем всего материала:

$$t_{\text{общ}} = \frac{8\mu V_m}{N2\pi r^4(P_1 - P_{\text{атм}})} \quad (3)$$

где V_m - объем обрабатываемого материала, $N=f \cdot t_{\text{обр}}$ - количество сформированных каналов, f - частота искровых разрядов, $t_{\text{обр}}$ - время обработки.

Время вытекания является функцией давления и числа сформировавшихся новых каналов, при этом физико-химические параметры клеточной жидкости внутри капиллярного канала определены через вязкость внутриклеточной жидкости и радиус капилляра сформированного в результате воздействия искрового разряда.

Мощность внутриклеточного давления, которое направлено на преодоление сил вязкости, возникающих в единичном капиллярном канале определяется через выражение:

$$W_{\text{вязкости}} = \frac{(\Delta P)^2 \cdot \pi r^4}{8\mu l} \quad (4)$$
$$= \frac{(P_1 - P_0)^2 \cdot \pi r^4}{8\mu l}$$

Интересно отметить, что мощность сил давления уменьшается с ростом длины капилляра и вязкости внутриклеточной жидкости, протекающей по капиллярному каналу.

Материалы и методы

Объект

Морковь высокого и однородного качества была приобретена у местного производителя. Начальная влажность, определяемая с помощью анализатора влажности Эвлас-2М (Россия) составляла 84,5%. Морковь нарезали на диски диаметром 24 мм, толщиной 3 и 9 мм с помощью нарезной машины MG-381 (Magio, Китай). Толщина дисков моркови

была выбрана из-за возможности сравнительного анализа с литературными данными [13] и предпочтительной товарной толщины продукта (3-9 мм). После нарезки морковь отправляли на электрофизическую обработку.

Обработка атмосферным скровым разрядом

Принцип работы экспериментальной установки в соответствии с авторской технологией [14] показан на рисунке 2. Для генерации атмосферного искрового разряда (АИР) в воздушном зазоре использовали конфигурацию электродов типа «точка-пластина», которая включала пластину из нержавеющей стали в качестве заземленного электрода, и точечный стальной электрод диаметром 1 мм в качестве высоковольтного электрода в диэлектрическом держателе. Зазор между электродами был установлен равным 15 мм. Камера обработки имела квадратную форму (длина 20 см), изготовленную из диэлектрического материала. Заземленный электрод в диэлектрическом держателе был установлен на позиционной платформе с двумя шаговыми двигателями для обеспечения перемещения по оси X-Y, как показано на рисунке 2а.

Траекторию движения электрода (пунктирная линия) задавали с помощью авторской интеллектуальной системы распознавания объектов. Траекторию задавали для максимальной обработки поверхности морковных дисков. Сразу после процедуры обработки морковные диски отправляли в эксикатор для исключения влияния окружающей среды.

Обработка АИР была выполнена с использованием высоковольтной системы питания (Matsusada AMPS 20B20, Япония) в сочетании с функциональным генератором Agilent. В поставленных экспериментах частота искрового разряда составляла 16 кГц. Выбранные

электрические параметры позволили точно контролировать обработку ткани моркови в сочетании со скоростью перемещения электрода. Каждый импульс подавал напряжение до 14 кВ с величиной тока разряда от 1 мА до 5 мА. Кроме того, при предварительной обработке

искровым разрядом использовались положительные импульсы с напряженностью электрического поля 10 кВ/см. Разница в температуре между предварительно обработанными АИР морковными дисками и контрольным образцом составила менее 2°C, которая была измерена с помощью термопары Т-типа.

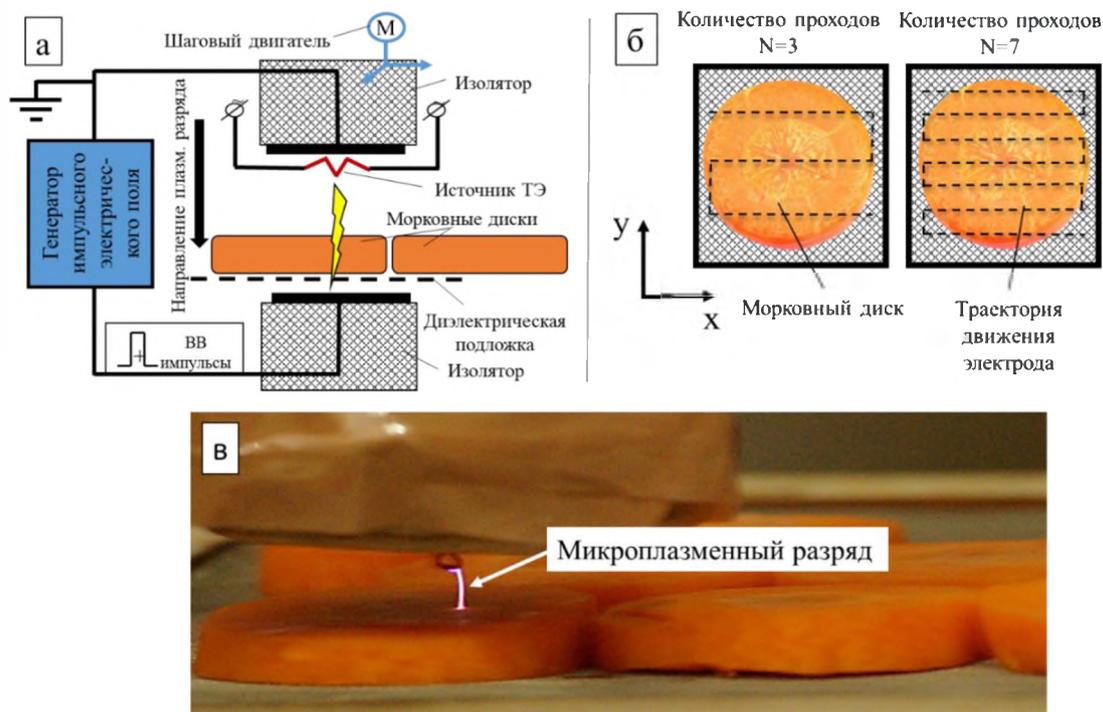


Рис 2. а – схема экспериментальной установки для предварительной АИР обработки; б – траектория движения электрода в камере обработки; в – процесс обработки АИР морковных дисков

Fig. 2. а – scheme of the experimental setup for preliminary ASD treatment; б – the trajectory of the electrode in the processing chamber; в – ASD processing of carrot discs

Определение массы выделенной внутриклеточной жидкости $M_{ж}$ на поверхности образца моркови проводили путем определения массы образца до обработки $M_{н}$ и после обработки в любой момент времени с последующим удалением высвободившейся жидкости $M_{о}$. Выражение для определения значения $M_{ж}$:

$$M_{ж} = M_{н} - M_{о} \quad (5)$$

Эксперимент проводили до тех пор, пока разница между двумя последними замерами массы тела не установилась менее 0,005% от общей массы образца.

Результаты и обсуждение

На рисунке 3 наглядно представлены следы влаги на фильтровальной бумаге в процессе выхода внутриклеточной жидкости морковных дисков толщиной 9 мм для различной силы тока. Влажный след

морковного диска, обработанного атмосферным искровым разрядом, имеет большую площадь по сравнению с контрольным образцом без обработки. Кроме этого, с увеличением силы тока увеличивается площадь следа влаги от морковного диска и как следствие количество выделившейся внутриклеточной жидкости.

На рисунке 4 представлена динамика выхода внутриклеточной жидкости в соответствии с выражением (5). Полученные кривые образцов моркови после обработки АИР характеризуются двумя линейными участками: первый участок (быстрый) вытекания клеточной жидкости под действием тургорного давления через сформированные каналы и второй участок (естественный) вытекание через мембраны клеток.

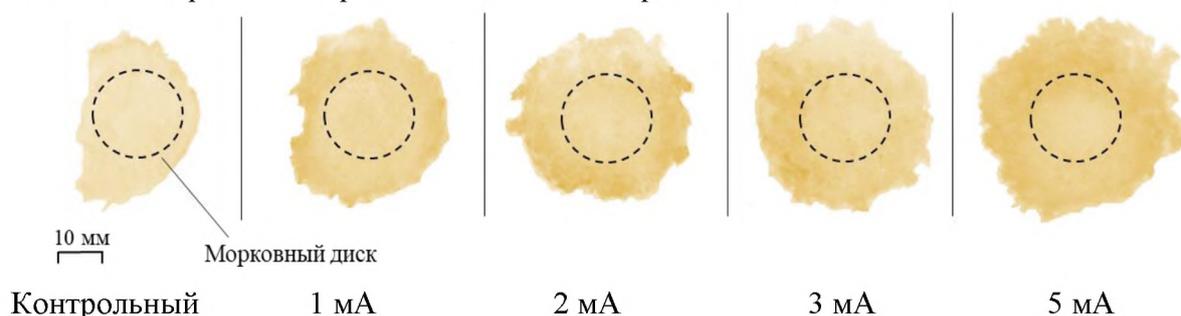


Рис. 3. След внутриклеточной жидкости морковного диска через 30 минут после обработки при различных величинах тока

Fig. 3. Traces of the intracellular fluid of a carrot disc 30 minutes after treatment at various current values

Полученная линейная зависимость характерна для времени вытекания внутриклеточной жидкости в соответствии с выражением (3). Для внутриклеточной жидкости моркови полагая $r = 80 \cdot 10^{-6}$ м, $\mu = 1,25 \cdot 10^{-3}$ Па·с [16], $P_1 = 0,8$ МПа [17] в соответствии с уравнением (4) при $P_0 = 0,1$ МПа получаем $t = 72$ мин. Данное значение хорошо коррелирует со значением $t = 65$ мин, полученное в ходе эксперимента. Известно, что с увеличением величины тока разряда

Установлено, что для растительного материала толщиной 9 мм количество выделившейся жидкости значительно выше, чем для толщины 3 мм. Так, количество жидкости после 60 минут эксперимента составила 0,37 мг для 9 мм по сравнению с 0,12 мг для толщины 3 мм. Стоит отметить, что разница в величине выделившейся жидкости прямо пропорциональна толщине материала в соответствии с выражением (4). В работе [15] применение импульсного электрического поля способствовало интенсификации движения внутриклеточной жидкости через растительные мембраны в результате электропорации. В работе также сообщается, что повышение интенсивности обработки прямо коррелирует с транспортной способностью мембран растительным клеткам.

изменяется величина получаемого размера канала [18]. Экспериментально установлено, что величина t уменьшается с увеличением величины тока разряда I . Так, в работах авторов [19, 20] отмечен рост электрически индуцированных пор на мембране растительных клеток от нанометрового до миллиметрового диапазона. На рисунке 5 приведена зависимость количества выделившейся внутриклеточной жидкости после обработки в зависимости от величины тока по

достижению 60 минут. Полученный график демонстрирует резкое увеличение выхода внутриклеточной жидкости с последующим стремлением к плато. При этом зависимость в рассматриваемом диапазоне характеристик тока может быть выражена как:

$$M_{ж} = 0.0856 \cdot \ln(I) + 0.338 \quad (6)$$

Полученные экспериментальные данные и зависимости будут полезны при рассмотрении более сложных процессов массопереноса в капиллярно-пористых телах с применением предварительной электрофизической обработки.

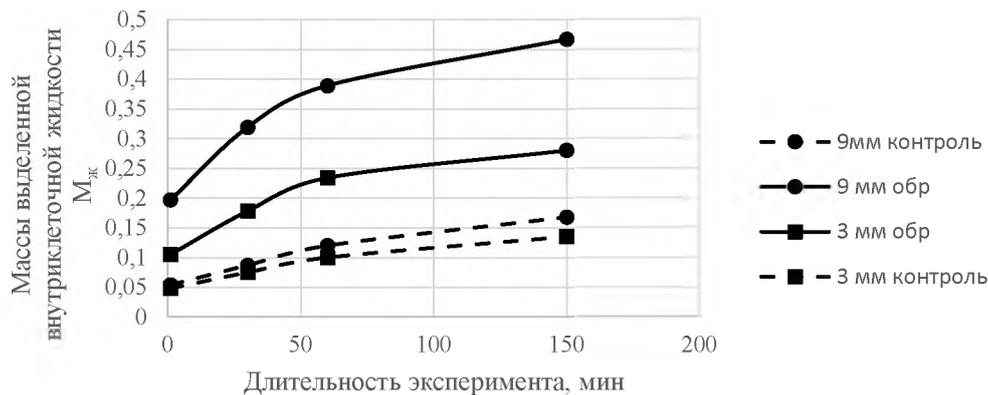


Рис. 4. Зависимость вытекания внутриклеточной жидкости от времени эксперимента

Fig. 4. Dependence of the outflow of intracellular fluid on the time of the experiment

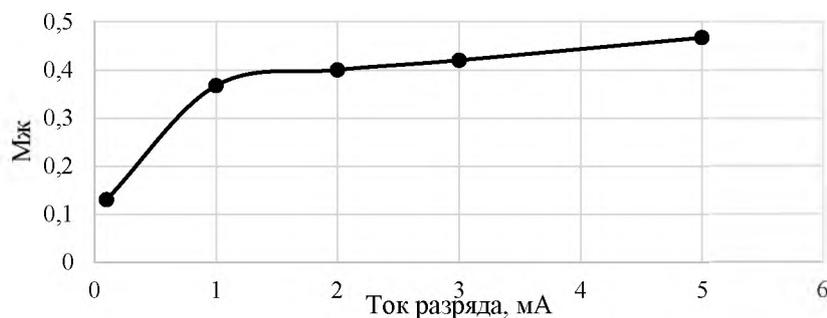


Рис. 5. Зависимость времени вытекания внутриклеточной жидкости от силы тока

Fig. 5. Dependence of the intracellular fluid outflow time on the current strength

Вывод

В работе представлена оценка гидродинамических течений клеточной жидкости в искусственно сформированных континуумах структуры растительных материалов. Установлено, что обработка атмосферным искровым разрядом способствует формированию новых

континуумов в структуре растительных материалов.

На количество выделившейся внутриклеточной жидкости из растительного материала влияют три параметра: количество сформированных микроразмерных каналов, толщина растительного материала и величина тока разряда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Gómez B. [et al.] Application of pulsed electric fields in meat and fish processing industries: An overview. *Food research international*. 2019; 123: 95-105.
2. Мякинникова Е.И., Касьянов Г.И. Использование электрофизических и газожидкостных технологий для сушки плодового сырья. *Техника и технология пищевых производств*. 2015; 2(37): 48-53.
3. Юдаев И.В., Кокурин Р.Г., Грачёва Н.Н. Автоматизация процесса электроимпульсной обработки растительного сырья. *Вестник аграрной науки Дона*. 2022; 1(57): 14-23.
4. Panja P. Green extraction methods of food polyphenols from vegetable materials. *Current Opinion in Food Science*. 2018; 23: 173-182.
5. Martynenko A., Bashkir I., Kudra T. The energy efficiency of electrohydrodynamic (EHD) drying of foods. *Trends in Food Science & Technology*. 2021; 118: 744-764.
6. Jha A.K., SitN. Extraction of bioactive compounds from plant materials using combination of various novel methods: A review. *Trends in Food Science & Technology*. 2022; 119: 579-591.
7. Шорсткий И.А. Сушка растительных материалов, обработанных низкотемпературной плазмой. *Техника и технология пищевых производств*. 2022; 52(3): 613-622.
8. Genovese J. [et al.] PEF-treated plant and animal tissues: Insights by approaching with different electroporation assessment methods. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2021; 74: 102872.
9. Chen Z., Lee W.G. Electroporation for microalgal biofuels: a review. *Sustainable Energy & Fuels*. 2019; 3(11): 2954-2967.
10. Титов А.А. Экспериментальное исследование сопротивления и теплообмена на поверхности со сферическими углублениями в потоке сжимаемого газа. *Известия Российской академии наук. Энергетика*. 2011; 1: 82-87.
11. Шорсткий И.А., Худяков Д.А. Оценка воздействия импульсного электрического разряда на процесс переноса вещества в растительном материале. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*. 2019; 2/3: 79-82.
12. Figliuzzi B., Buie C.R. Rise in optimized capillary channels. *Journal of Fluid Mechanics*. 2013; 731: 142-161.
13. Kaya A., Aydın O., Demirtaş C. Experimental and theoretical analysis of drying carrots. *Desalination*. 2009; 237(1-3): 285-295.
14. Способ подготовки растительного материала к сушке и устройство для его осуществления: патент 2727915 Рос. Федерация / И.А. Шорсткий. 2019.
15. Ersus S., Barrett D.M. Determination of membrane integrity in onion tissues treated by pulsed electric fields: use of microscopic images and ion leakage measurements. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2010; 11(4): 598-603.
16. Vandresen S. [et al.] Temperature effect on the rheological behavior of carrot juices. *Journal of Food Engineering*. 2009; 92(3): 269-274.
17. Исследование неспецифической стрессорной реакции растений на шоковое действие абиотических факторов / Холодова В.П. [и др.]. *Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: Биология*. 2001; 1: 151-154.
18. Halder A., Datta A.K., Spanswick R.M. Water transport in cellular tissues during thermal processing // *AIChE Journal*. 2011; 57(9): 2574-2588.
19. Ranjha M.M. [et al.] A critical review on pulsed electric field: A novel technology for the extraction of phytoconstituents. *Molecules*. 2021; 26(16): 4893.
20. López-Gámez G. [et al.] Enhancing phenolic content in carrots by pulsed electric fields during post-treatment time: Effects on cell viability and quality attributes. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2020; 59: 102252.

REFERENCES:

1. Gómez B. [et al.] Application of pulsed electric fields in meat and fish processing industries: An overview. *Food research international*. 2019; 123: 95-105.
2. Myakinnikova E.I., Kasyanov G.I. The use of electrophysical and gas-liquid technologies for drying fruit raw materials. *Equipment and technology of food production*. 2015; 2(37): 48-53. (In Russ).
3. Yudaev I.V., Kokurin R.G., Gracheva N.N. Automation of the process of electropulse processing of vegetable raw materials. *Herald of Agrarian Science of the Don*. 2022; 1(57): 14-23. (In Russ).
4. Panja P. Green extraction methods of food polyphenols from vegetable materials. *Current Opinion in Food Science*. 2018; 23: 173-182.
5. Martynenko A., Bashkir I., Kudra T. The energy efficiency of electrohydrodynamic (EHD) drying of foods. *Trends in Food Science & Technology*. 2021; 118: 744-764. (In Russ).
6. Jha A. K., Sit N. Extraction of bioactive compounds from plant materials using combination of various novel methods: A review // *Trends in Food Science & Technology*. 2022; 119: 579-591.
7. Shorstky I.A. Drying of plant materials treated with low-temperature plasma. *Technique and technology of food production*. 2022; 52(3): 613-622. (In Russ).
8. Genovese J. [et al.] PEF-treated plant and animal tissues: Insights by approaching with different electroporation assessment methods. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2021; 74: 102872.
9. Chen Z., Lee W.G. Electroporation for microalgal biofuels: a review. *Sustainable Energy & Fuels*. 2019; 3(11): 2954-2967.
10. Titov A.A. Experimental study of resistance and heat transfer on surfaces with spherical depressions in a compressible gas flow. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Energy*. 2011; 1: 82-87. (In Russ).
11. Shorstky I.A., Khudyakov D.A. Evaluation of the impact of a pulsed electric discharge on the process of substance transfer in plant material. *Izvestiya of higher educational institutions. Food technology*. 2019; 2-3: 79-82. (In Russ).
12. Figliuzzi B., Buie C.R. Rise in optimized capillary channels // *Journal of Fluid Mechanics*. 2013; 731: 142-161.
13. Kaya A., Aydın O., Demirtaş C. Experimental and theoretical analysis of drying carrots. *Desalination*. 2009; 237 (1-3): 285-295.
14. Shorstky I.A. A method of preparing plant material for drying and a device for its implementation: patent 2727915 RF. 2019. (In Russ).
15. Ersus S., Barrett D.M. Determination of membrane integrity in onion tissues treated by pulsed electric fields: use of microscopic images and ion leakage measurements. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2010; 11(4): 598-603.
16. Vandresen S. [et al.] Temperature effect on the rheological behavior of carrot juices. *Journal of Food Engineering*. 2009; 92(3): 269-274.
17. Kholodova V.P., Meshcheryakov A.B., Alexandrova S.N. [et al.] Study of nonspecific stress response of plants to the shock effect of abiotic factors. *Bulletin of Nizhny Novgorod university named after N.I. Lobachevsky. Ser.: Biology*. 2001; 1: 151-154. (In Russ).
18. Halder A., Datta A.K., Spanswick R.M. Water transport in cellular tissues during thermal processing. *AIChE Journal*. 2011; 57(9): 2574-2588.
19. Ranjha M.M. [et al.] A critical review on pulsed electric field: A novel technology for the extraction of phytoconstituents. *Molecules*. 2021; 26(16): 4893.
20. López-Gámez G. [et al.] Enhancing phenolic content in carrots by pulsed electric fields during post-treatment time: Effects on cell viability and quality attributes. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2020; 59: 102252.

Информация об авторах / Information about the authors

Максим Дмитриевич Соснин, аспирант кафедры технологического оборудования и систем жизнеобеспечения, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», г. Краснодар, Россия
maksim-sosnin7@mail.ru
тел.: +7 (918) 685 82 01

Иван Александрович Шорсткий, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры технологического оборудования и систем жизнеобеспечения, ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», г. Краснодар, Россия
i-shorstky@mail.ru
тел.: +7 (967) 652 58 81

Maksim D. Sosnin, Postgraduate Student, Department of Technological equipment and Process Engineering, FSBEI HE «Kuban State Technological University»
maksim-sosnin7@mail.ru
tel.: +7 (918) 685 82 01

Ivan A. Shorstky, Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Department of Technological equipment and Process Engineering, FSBEI HE «Kuban State Technological University»
i-shorstky@mail.ru
tel.: +7 (967) 652 58 81

Поступила в редакцию 10.04.2023; поступила после рецензирования 19.05.2023; принята к публикации 20.05.2023
Received 10.04.2023; Revised 19.05.2023; Accepted 20.05.2023