

Влияние наложения низкочастотных механических колебаний на эффективность экстрагирования

Юлиан И. Шишацкий¹
Сергей А. Никель¹ sergei.nickel@yandex.ru
Александр В. Буданов¹
Юрий Н. Власов¹

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

Реферат. Показано, что эффективный перенос целевого компонента из сырья происходит в условиях турбулентного режима, обеспечиваемого наложением механических колебаний на двухфазную систему: твердое тело - жидкость. За счет такой гидродинамической обстановки в экстракторе интенсифицируются не только внешняя, но и внутренняя диффузия. Изучен способ интенсификации процесса экстрагирования с помощью низкочастотных механических колебаний в случае, когда колебательное движение совершает аппарат с подсырной сывороткой, содержащей взвешенные пористые частицы. Опыты проводились на лабораторных установках с подводом к двухфазной системе энергии извне, источником которой в первом случае являлся электромагнит, во втором – механический привод с эксцентриковым устройством. Представлены схемы установок. Режимные параметры изменялись в диапазонах: температура от 40 до 60 °С, частота колебаний от 30 до 40 кол/с, амплитуда от 1 до 6,5 мм. В процессе экстрагирования текущая концентрация экстрактивных веществ находилась из уравнения материального баланса. Приведены экстракционные кривые, полученные по экспериментальным данным. Наблюдалось нарастание извлечения экстрактивных веществ во времени, причем оно было интенсивнее с увеличением частоты колебаний. Установлено, что рост амплитуды не оказывает столь существенного влияния на изменение указанных показателей. Интенсивность колебаний составляла до 260 мм/с. При этом выход экстрактивных веществ в частности из люпина в форме крупки равнялся 25 %, а продолжительность процесса 18 мин. Эксперименты показали, что применение выбранного способа экстрагирования приводит к значительному ускорению процесса (до 2,5 раз) по сравнению с экстрагированием в плотном слое. Сделан вывод, что вследствие наложения на систему механических колебаний на поверхности и в порах твердой фазы возникают колебания давления, относительных скоростей, а также концентраций целевых компонентов двухфазной системы. В итоге создаются максимально возможные для исследованного процесса градиенты этих параметров.

Ключевые слова: экстрагирование, кинетические закономерности, люпин, подсырная сыворотка, механические колебания, интенсификация выхода компонентов

Effect of the imposition of low-frequency mechanical oscillations on the extraction efficiency

Julian I. Shitshatskij¹
Sergey A. Nikel'¹ sergei.nickel@yandex.ru
Aleksandr V. Budanov¹
Yuri N. Vlasov¹

¹ Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

Summary. It was shown that the effective transfer of the target component from the raw material occurs under a turbulent regime conditions provided by applying mechanical oscillations to a two-phase system: solid-liquid. Due to this hydrodynamic situation, not only external but also internal diffusion is intensified in the extractor. The method for intensifying the extraction process using low-frequency mechanical oscillations in the case when the vibrational motion is performed by a device with a cheese whey containing suspended porous particles was studied in the work. The experiments were carried out on the laboratory equipment with a supply to a two-phase energy system from the outside, the source of which in the first case was an electromagnet, in the second - a mechanical drive with an eccentric device. Schemes of equipment were also presented in the work. The regime parameters varied in the following ranges: temperature - 40-60 °C, oscillation frequency - 30 - 40 osc / s, amplitude - 1 - 6.5 mm. In the extraction process, the current concentration of extractive substances was obtained from the material balance equation. Extraction curves obtained from experimental data were presented. Increasing extraction of extractive substances in time was observed, it being more intense with the increasing frequency of oscillations. It was found that the growth of the amplitude does not have a significant influence on the change of these indices. The intensity of oscillations was up to 260 mm / s. At the same time, the yield of extractive substances in particular from lupine in the form of grits was 25%, and the duration of the process was 18 min. The experiments showed that the application of the chosen extraction method results into a significant acceleration of the process (up to 2.5 times) as compared to extraction in a dense layer. It is concluded that due to the imposition of mechanical oscillations on the surface and in the pores of the solid phase, there arise oscillations of pressure, relative velocities, as well as the concentrations of the target components of the two-phase system. As a result, the gradients of these parameters that are maximally possible for the investigated process were created.

Keywords: extraction, kinetic patterns, lupine, cheese whey, mechanical vibrations, intensification of components

Для цитирования
Шашацкий Ю.И., Никель С.А., Буданов А.В., Власов Ю.Н. Влияние наложения низкочастотных механических колебаний на эффективность экстрагирования // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 1. С. 25–29. doi:10.20914/2310-1202-2018-1-25-29

For citation
Shitshatskij Ju.I., Nikel' S.A., Budanov A.V., Vlasov Yu. N. Effect of the imposition of low-frequency mechanical oscillations on the extraction efficiency. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 1. pp. 25–29. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-1-25-29

Введение

Экстрагирование наложением поля механических колебаний протекает в условиях турбулентного движения сплошной фазы. Перенос целевого компонента реализуется за счет хаотического перемещения элементарных вихрей совместно с макроскопическими объемами жидкой среды [3,5]. При этом уменьшаются или полностью устраняются застойные зоны в аппарате, а также увеличивается коэффициент массообмена, зависящий от относительной скорости движения твердых частиц и жидкости и в значительной степени от активной поверхности [1].

Энергия колебательного движения, как правило пропорциональна произведению амплитуды колебаний A на их частоту n . Согласно закону сохранения энергии $An = \text{const}$. Очевидно, что частота колебаний обратно пропорциональна их масштабу [2]. При наложении механических колебаний в упругой среде развиваются пульсации различных масштабов, при этом крупномасштабные переходят в мелкомасштабные, то есть возникает иерархия колебаний. Чем меньше масштаб колебаний, тем большую турбулизацию потока вызывают они в устье капилляров. За счет такой гидродинамической обстановки в большей степени интенсифицируются не только внешняя, но и внутренняя диффузия.

Материалы и методы

Нами изучен способ интенсификации процесса экстрагирования с помощью низкочастотных механических колебаний в случае, когда колебательное движение совершает аппарат с подсырной сывороткой, содержащей взвешенные твердые частицы люпина. Сложность такой ситуации определяется сочетанием двух режимов: инерционного режима вследствие колебаний подсырной сыворотки и взвешенного состояния частиц.

Опыты проводились на лабораторных установках с подводом к двухфазной среде энергии извне в виде низкочастотных механических колебаний, источником которых являлся электромагнитный (рисунок 1) и механический привод с эксцентриковым устройством (рисунок 2).

Экстрактор состоит из станины 1, на которой закреплялся электромагнит 2 и плоские пружины 3. К пружинам 3 крепилась цилиндрическая подвижная платформа 4 с резиновым ковриком 5 на ее днище, а также фиксирующий диск 6 с отверстиями, расположенными по окружности для установки в них стаканов 7 с пробками. В фиксирующем диске 6 концентрично устанавливался нагревательный элемент 10.

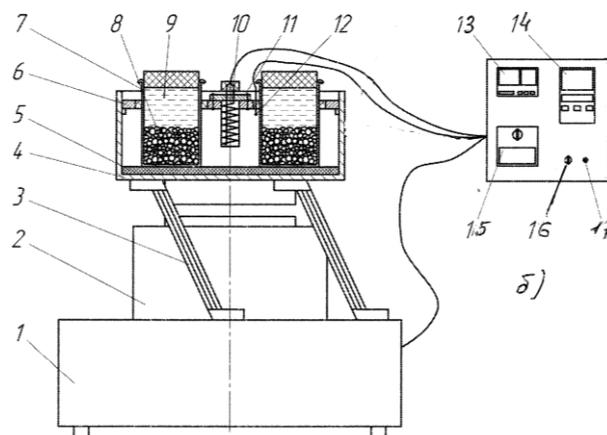
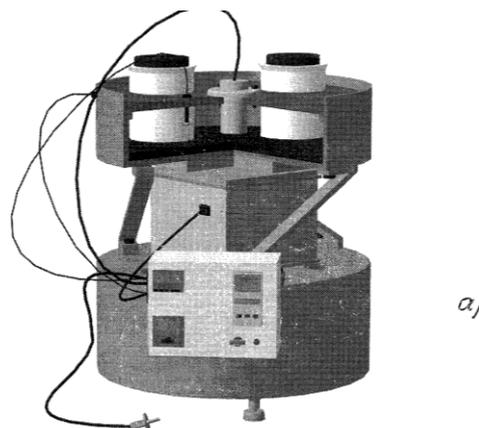


Рисунок 1. Общий вид (а) и схема экспериментальной установки (б): 1 – станина; 2 – электромагнит; 3 – плоские пружины; 4 – подвижная платформа; 5 – резиновый коврик; 6 – фиксирующий диск; 7 – стеклянный стакан с пробкой; 8 – сырье; 9 – экстрагент; 10 – нагревательный элемент; 11 – крепление нагревательного элемента; 12 – термопара; 13 – универсальный измеритель ОВЕН 2ТРМ; 14 – частотный преобразователь; 15 – автотрансформатор; 16 – тумблер включения установки; 17 – сигнальная лампа включения

Figure 1. Main view (a) and experimental setup (b): 1 – frame; 2 – solenoid; 3 – flat spring; 4 – movable platform; 5 – the rubber Mat; 6 – locking disc; 7 – glass beaker with a stopper; 8 – raw material; 9 – extractant; 10 heater; 11 – fastening of the heating element; 12 – thermocouples; 13 – meter universal ARIES 2TRM; 14 – frequency Converter; 15 – autotransformer; 16 – switch setting; 17 – signal lamp turn

Опыты проводились следующим образом. В подвижную платформу 4 заливалась вода. Измельченный люпин и экстрагент (подсырная сыворотка) загружались в стаканы 7, которые закрывались пробками. После этого включались в работу нагревательный элемент 10, затем электромагнит 2. Заданная температура воды в подвижной платформе поддерживалась постоянной в процессе экстрагирования. Она измерялась термопарой и контролировалась измеритель-регулятором ОВЕН 2ТРМ1.

Частота вибрации задавалась частотным преобразователем и рядом фиксированных значений амплитуд. Соотношение твердой и жидкой фаз в экстракторе составляло 1:5–1:6. Опыты проводились при температуре 40–60 °С, частоте колебаний от 30 до 40 кол/с, амплитуде от 1 до 6,5 мм.

Частицам люпина предварительно придавалась форма крупки. Пробы экстракта отбирались через интервалы времени от 1 до 5 мин специальным шприцем. В отобранных пробах определялась массовая доля сухих веществ.

Ряд опытов проводились на установке (рисунок 2), отличающейся тем, что колебания обеспечивались приводом от электродвигателя 18. Привод включал в себя, кроме электродвигателя, клиноременную передачу 19, регулируемое эксцентриковое устройство 20, шатун 21, микрометрический измеритель 22. Эксцентриковое устройство вместе с шатуном сообщало возвратно-поступательное движение в вертикальном направлении платформе 4 (рисунок 1, б).

Частота колебаний изменялась в заданном диапазоне с помощью электродвигателя переменного тока 18 и реостата. Для замера амплитуды колебаний использовалось микрометрическое устройство 22.

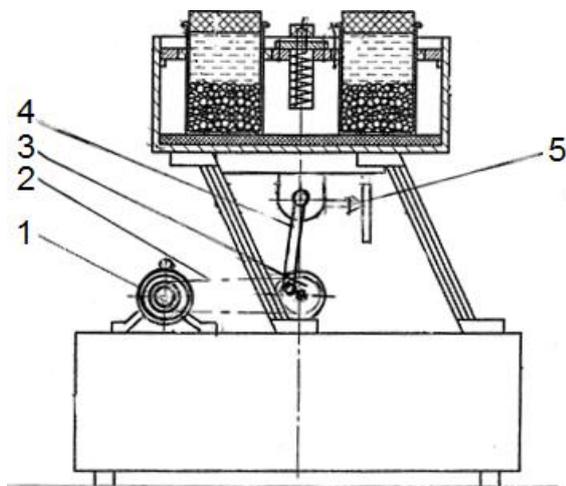


Рисунок 2. Экстрактор с механическим приводом: 1 – электродвигатель; 2 – клиноременная передача; 3 – регулируемое эксцентриковое устройство; 21 – шатун; 4 – микрометрическое устройство

Figure 2. Extractor with mechanical operation: 1 – motor; 2 – belt transmission; 3 – adjustable eccentric device; 21 – connecting rod; 4 – a micrometric device

Идентичность приведенных ниже результатов исследований, выполненных на обеих установках, дают основание считать эти результаты достоверными.

В процессе исследования текущая концентрация экстрактивных веществ C_1 находилась из уравнения материального баланса [4].

$$C_1 = C_n + \beta \cdot (C_0 - C); \quad (1)$$

$$\beta = Mm_n / \rho W, \quad (2)$$

где C_n – начальная концентрация целевых компонентов в экстрагенте; C_1 – текущая концентрация целевых компонентов в экстрагенте; C_0 – начальная концентрация целевых компонентов в порах частиц; C – осредненная концентрация целевых компонентов в порах частиц в каждый момент времени; M – масса твердой частицы; m_n – объемная доля пор; ρ – плотность частиц материала до загрузки в аппарат; W – объема экстрагента; β – коэффициент массоотдачи.

Результаты и обсуждение

Наблюдалось нарастание концентрации экстрактивных веществ во времени, причем оно было интенсивнее с увеличением частоты колебаний (рисунок 3–5). Использование турбулентной пульсации при экстрагировании из люпина позволило увеличить выход целевых компонентов за счет создания активных гидродинамических явлений вблизи отверстия капилляра. Наложение механических колебаний на систему приводит к снятию диффузионного барьера с поверхности твердой фазы и выравниванию концентраций веществ в подсырной сыворотке.

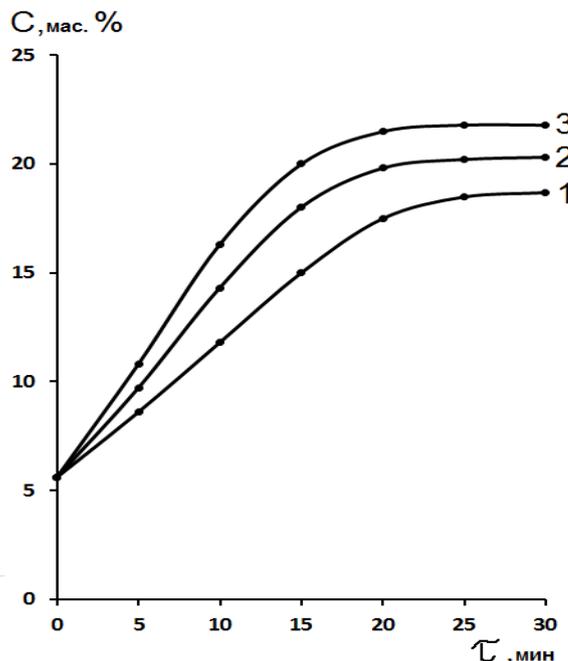


Рисунок 3. Кинетические кривые извлечения экстрактивных веществ из люпина при механических колебаниях n , кол/с: 1 – 3; 2 – 6; 3 – 10; $A = 5,5$ мм; $t = 50$ °С; форма тела – крупка

Figure 3. Kinetic curves of extraction of extractives from lupine in mechanical oscillations n , number/s: 1 – 3; 2 – 6; 3 – 10; $A = 5.5$ mm; $t = 50$ °C; body shape – crumb

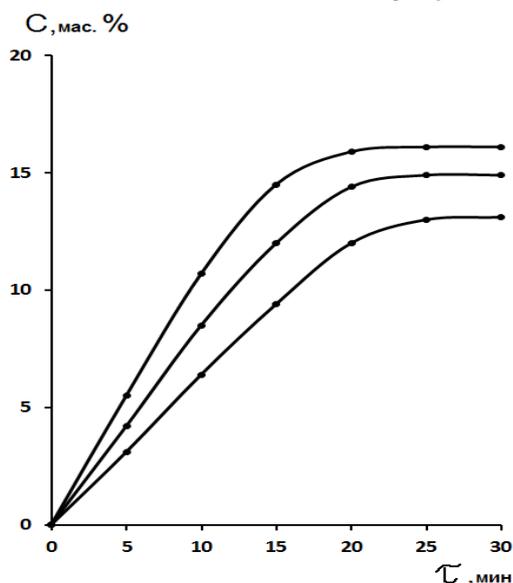


Рисунок 4. Кинетические кривые извлечения экстрактивных веществ из люпина при механических колебаниях (без учета содержания СВ в подсырной сыворотке), n , кол/с: 1 – 3; 2 – 6; 3 – 10; $A = 5,5$ мм; $t = 50$ °С; форма тела – крупка

Figure 4. Kinetic curves of extraction of extractives from lupine when mechanical vibrations (excluding the DM content in cheese whey), n , number/s: 1 – 3; 2 – 6; 3 – 10; $A = 5.5$ mm; $t = 50$ °C; body shape – crumb

Применение выбранного метода интенсификации приводит к ускорению процесса (до 2,5 раз). Общая закономерность, которая была установлена в результате экспериментального исследования, следующая. С увеличением частоты колебаний продолжительность процесса сокращается и выход экстрактивных веществ существенно увеличивается. Влияние роста амплитуды не оказывает столь значительного влияния на изменение указанных показателей. Интенсивность колебаний составляла от 3 до 260 мм/с. В последнем случае выход экстрактивных веществ для частиц в виде крупки равнялся 25 %, а продолжительность процесса 18 мин.

Вследствие наложения механических колебаний на поверхности и в порах твердой фазы возникают колебания давления, относительных скоростей, а также концентраций. В итоге создаются максимально возможные для исследованного процесса градиенты этих параметров.

Хаотическое движение совокупности частиц твердой фазы в экстракторе подтвердилось поведением меченых частиц люпина. В результате рассмотрения интенсивности хаотического движения сплошной и диспергированной фаз Протодяконовым с соавторами получено соотношение [6]:

$$\frac{I_{fi}^2}{I_{pi}^2} = \left[1 + \left(\gamma + \frac{1}{2} \right)^2 \frac{\lambda_i d^2}{27\nu} \right] \left(1 + \frac{\lambda_i d^2}{12\nu} \right)^{-1}, \quad (3)$$

где I_{fi} и I_{pi} – интенсивности хаотического движения сплошной (жидкой) и диспергированной (твёрдой)

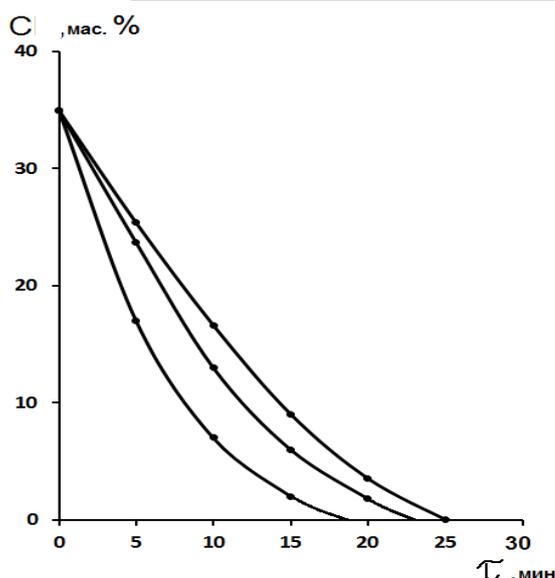


Рисунок 5. Кинетические кривые изменения концентрации экстрактивных веществ в люпине (истощающее экстрагирование) при механических колебаниях механических) n , кол/с: 1 – 3; 2 – 6; 3 – 10; $A = 5,5$ мм; форма тела – крупка

Figure 5. Kinetic curves of changes in the concentration of extractives in lupine (exhaustive extraction) in mechanical vibrations mechanical) n , number/s: 1 – 3; 2 – 6; 3 – 10; $A = 5.5$ mm; body shape – crumb

фаз; γ – отношение плотностей твердой и жидкой фаз; λ_i – некоторые постоянные; d – размер дисперсной частицы; ν – вязкость жидкости.

Отмечается, что коэффициент турбулентной диффузии каждой из фаз пропорционален интенсивности хаотического движения соответствующей фазы. Поэтому формула (3) позволяет оценить отношение коэффициентов турбулентной диффузии жидкой и диспергированной фаз в аппарате.

В нашем случае отношение плотностей $\gamma = \rho_t/\rho_{ж} > 1$. Физический смысл заключается в том, что если плотности твердой и жидкой фаз разнятся, то следует ожидать некоторого увеличения относительной скорости их движения, что приведет к увеличению коэффициента массопередачи. Интенсивность хаотического движения фаз не будет одинаковой, равно как и коэффициенты турбулентной диффузии.

Заключение

Таким образом, применение предлагаемого процесса экстрагирования позволяет обеспечить максимальное извлечение целевых компонентов из сырья растительного происхождения, интенсифицировать процесс экстрагирования, причем степень интенсификации в поле низкочастотных колебаний определяется скоростью пульсирующих потоков при развитой турбулентности. При этом увеличивается поверхность контакта фаз твердое тело – жидкость. Происходит снятие диффузионного барьера за счет увеличения относительных скоростей движения в двух-фазной системе и активизируется поверхность массопередачи.

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Альянс, 2014. 752 с.
- 2 Остриков А.Н., Абрамов О.В., Логинов А.В. и др. Процессы и аппараты пищевых производств. СПб.: ГИОРД, 2012. 616 с.
- 3 Вобликова Т.В., Шлыков С.Н., Пермяков А.В. Процессы и аппараты пищевых производств: учебное пособие. Ставрополь: АГРУС Ставропольского гос. аграрного ун-та, 2013. 212с.
- 4 Шишацкий Ю.И., Иванов С.С., Плюха С.Ю. Кинетика извлечения экстрактивных веществ из люпина с различной геометрической формой // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2014. № 1. С. 36–39.
- 5 Zayas J. F. Functionality of proteins in food // Springer Science & Business Media. 2012.
- 6 Ackaah-Gyasi N. A. et al. Improving and Tailoring Enzymes for Food Quality and Functionality // McGill University (Macdonald Campus), Montreal, QC, Canada. 2015. P. 103.
- 7 Clark S., Jung S., Lamsal B. et al. Food processing: principles and applications. John Wiley & Sons, 2014.
- 8 Taheri F. Applications of Nanoparticles in Adhesives Current Status // Handbook of Adhesive Technology. 2017.
- 9 Шевцов А.А., Дерканосова А.А., Коротаева А.А., Дятлова С.А. Кинетические закономерности и оптимизация процесса сушки жома красного клевера // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2013. № 4 (58). С. 41-46.
- 10 Jeltema M. A., Beckley J. B., Vahalik J. Importance of Understanding Mouth Behavior when Optimizing Product Texture now and in the future // Food texture design and optimization. 2014. P. 423-442.
- 11 Дмитриев Е. А. Явления переноса массы в примерах и задачах: учебное пособие. М.: Директ – Медиа, 2015. 104 с.
- 12 Гришин Н. С., Поникаров И.И., Поникаров С.И., Гришин Д.Н. Экстракция в поле переменных сил. Гидродинамика, массопередача, аппараты. Казань: Издательство Казан. нац. исслед. технол. ун-т, 2012. 468 с.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

- Юлиан И. Шишацкий** д.т.н., профессор, кафедра физики, теплотехники и теплоэнергетики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
- Сергей А. Никель** к.т.н., доцент, кафедра физики, теплотехники и теплоэнергетики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, sergei.nickel@yandex.ru
- Александр В. Буданов** д.т.н., профессор, кафедра физики, теплотехники и теплоэнергетики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия
- Юрий Н. Власов** к.ф.-м.н., доцент, кафедра физики, теплотехники и теплоэнергетики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия

КРИТЕРИЙ АВТОРСТВА

Все авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут ответственность за плагиат

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПОСТУПИЛА 28.01.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 16.02.2018

REFERENCES

- 1 Kasatkin A.G. Osnovnye protsessy i apparaty [Basic processes and apparatuses of chemical technology] Moscow, Al'yans, 2014. 752 p. (in Russian)
- 2 Ostrikov A.N., Abramov O.V., Loginov A.V. et al. Protsessy i apparaty pishchevykh [Processes and devices of food production] Saint-Petersburg, GIORД, 2012. 616 p. (in Russian)
- 3 Voblikova T.V., Shlykov S.N., Permyakov A.V. Protsessy i apparaty [Processes and Apparatuses of Food Production] Stavropol, AGRUS, 2013. 212 p. (in Russian)
- 4 Shishatsky Yu.I., Ivanov S.S., Plyukh S.Yu. Kinetics of extraction of extractive substances from lupine with different geometric shapes. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of Voronezh State University of Engineering Technologies] 2014. no. 1. pp. 36-39. (in Russian)
- 5 Zayas J. F. Functionality of proteins in food. Springer Science & Business Media. 2012.
- 6 Ackaah-Gyasi N. A. et al. Improving and Tailoring Enzymes for Food Quality and Functionality. McGill University (Macdonald Campus), Montreal, QC, Canada. 2015. pp. 103.
- 7 Clark S., Jung S., Lamsal B. et al. Food processing: principles and applications. John Wiley & Sons, 2014.
- 8 Taheri F. Applications of Nanoparticles in Adhesives Current Status. Handbook of Adhesive Technology. 2017.
- 9 Shevtsov A.A., Derkanosova A.A., Korotaeva A.A., Dyatlova S.A. Kinetic regularities and optimization of drying process of red clover pulp. . *Vestnik VGUIT* [Proceedings of Voronezh State University of Engineering Technologies] 2013. no. 4 (58). pp. 41-46. (in Russian)
- 10 Jeltema M. A., Beckley J. B., Vahalik J. Importance of Understanding Mouth Behavior when Optimizing Product Texture now and in the future. Food texture design and optimization. 2014. pp. 423-442.
- 11 Dmitriev E.A. Yavleniya perenosa massy [Phenomenon of mass transfer in examples and tasks] Moscow, Direct - Media, 2015. 104 p. (in Russian)
- 12 Grishin N.S., Ponikarov I.I., Ponikarov S.I., Grishin D.N. Ekstraktsiya v pole peremennykh sil [Extraction in the field of variable forces. Hydrodynamics, mass transfer, apparatuses] Kazan, KNITU, 2012. 468 p. (in Russian)

INFORMATION ABOUT AUTHORS

- Julian I. Shitshatskij** Dr. Sci. (Engin.), professor, physics, heat engineering and heat power engineering department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia
- Sergey A. Nikel'** Cand. Sci. (Engin.), associate professor, physics, heat engineering and heat power engineering department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, sergei.nickel@yandex.ru
- Aleksandr V. Budanov** Dr. Sci. (Engin.), professor, physics, heat engineering and heat power engineering department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia
- Yuti N. Vlasov** Cand. Sci. (Phys.+math.), associate professor, physics, heat engineering and heat power engineering department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia

CONTRIBUTION

All authors equally participated in writing the manuscript and responsible for the plagiarism

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 1.28.2018

ACCEPTED 2.16.2018