

Исследование влияния параметров процесса сушки яблочных выжимок на выход пектиновых веществ

Алексей В. Дранников	¹	drannikov@list.ru
Сергей А. Титов	¹	125titov@mail.ru
Дарья В. Беломыльцева	¹	dbelomytseva@bk.ru
Надежда Н. Корышева	¹	korysheva.nadya@mail.ru
Дарья К. Костина	¹	kostina.dasha.2111@mail.ru
Артем М. Давыдов	²	amdavydov@mail.ru

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

² Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, 36, Москва, 117997, Россия

Аннотация. Одним из наиболее распространенных способов консервирования яблочных выжимок с целью дальнейшего получения продуктов с высоким содержанием биологически активных веществ, является сушка. Для эксперимента был выбран способ сушки перегретым паром пониженного давления в импульсном виброкипящем слое, так как он позволяет повысить качество готового продукта за счет снижения температуры сушильного агента, тем самым сохранив значительное количество биологически активных веществ в исходном продукте. Для изучения кинетических и гидродинамических зависимостей процесса сушки разработана и создана экспериментальная установка, позволяющая получать максимально точные и воспроизводимые результаты. По результатам проделанных экспериментов построены кривые сушки, кривые скорости сушки и кривые нагрева. Определены технологические режимы работы сушильной установки и максимальное влагонапряжение сушильной камеры. Помимо эксперимента по сушке яблочных выжимок, проводилось и исследование по содержанию пектиновых веществ в высушенных выжимках. Для определения количества пектина и протопектина был использован кальций-пектатный метод. В ходе эксперимента было выявлено, что при предложенном способе сушки выход пектиновых веществ повышен по сравнению с традиционными способами. Были построены гистограммы содержания пектина и протопектина в зависимости от способа сушки. Проведен сравнительный анализ содержания пектина и протопектина в зависимости от режима сушки для яблочных выжимок и жома сахарной свеклы. Сделан вывод о повышенной термолабильности протопектина в яблочных выжимках по сравнению с жомом сахарной свеклы.

Ключевые слова: сушка, яблочные выжимки, свекольный жом, кинетика, гидродинамика, влагонапряжение, пектин, протопектин, термолабильность

Research of influence of parameters of process of drying of an apple residue on an exit of pectinaceous substances

Aleksei V. Drannikov	¹	drannikov@list.ru
Sergei A. Titov	¹	125titov@mail.ru
Dariya V. Belomytseva	¹	dbelomytseva@bk.ru
Nadezhda N. Korysheva	¹	korysheva.nadya@mail.ru
Dariya K. Kostina	¹	kostina.dasha.2111@mail.ru
Artem M. Davydov	²	amdavydov@mail.ru

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

² Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane, 36, Moscow, 117997, Russia

Abstract. One of the most common methods of preserving apple pomace in order to further obtain products with a high content of biologically active substances is drying. For the experiment, a method of drying with superheated steam of reduced pressure in a pulsed vibro boiling layer was chosen, since it allows improving the quality of the finished product by lowering the temperature of the drying agent, thereby retaining a significant amount of nutrients in the original product. To study the kinetic and hydrodynamic dependences of the drying process, an experimental setup has been developed and created, which allows to obtain the most accurate and reproducible results. According to the results of the experiments done, the drying curves, the drying rate curves and the heating curves were constructed. The technological modes of operation of the drying unit are determined, ensuring a minimum of the specific energy consumption of the drying process and the maximum moisture stress of the drying chamber. In addition to the experiment on drying apple pomace, a study was also conducted on the content of pectic substances in dried pomace. To determine the amount of pectin and protopectin, the calcium-pectate method was used. During the experiment, it was found that with the proposed method of drying, the yield of pectin substances is increased compared with traditional methods. Histograms of the content of pectin and protopectin were constructed depending on the method of drying. A comparative analysis of the content of pectin and protopectin was carried out depending on the drying mode for apple pomace and sugar beet pulp. The conclusion is made about the increased thermolability of protopectin in apple pomace compared to sugar beet pulp.

Keywords: drying, apple residue, beet press, kinetics, hydrodynamics, moisture tension, pectin, protopectin, thermolability

Введение

На сегодняшний день особое значение в кормопроизводстве придается замене синтетических компонентов (красители, консерванты, загустители и другие) на добавки, изготовленные из натурального сырья, такого, как пектин [1].

Для цитирования

Дранников А.В., Титов С.А., Беломыльцева Д.В., Корышева Н.Н., Костина Д.К., Давыдов А.М. Исследование влияния параметров процесса сушки яблочных выжимок на выход пектиновых веществ // Вестник ВГУИТ. 2018. Т. 80. № 4. С. 35–40. doi:10.20914/2310-1202-2018-4-35-40

For citation

Drannikov A.V., Titov S.A., Belomytseva D.V., Korysheva N.N., Kostina D.K., Davydov A.M. Research of influence of parameters of process of drying of an apple residue on an exit of pectinaceous substances. *Vestnik VGUIT* [Proceedings of VSUET]. 2018. vol. 80. no. 4. pp. 35–40. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2018-4-35-40

Пектин – это склеивающее вещество, полисахарид, образованный из остатков галактуроновой кислоты и присутствующий в большинстве высших растений – фруктах, овощах, корнеплодах и некоторых видах водорослей [3]. Являясь структурным элементом тканей, пектины способствуют поддержанию тургора, повышают устойчивость растений к засухе и длительному хранению.

Главная функциональная особенность пектина как студнеобразователя – способность формировать гели в водных растворах в присутствии сахара и кислоты или ионов кальция. Одной из важнейших характеристик пектина является гелеобразующая способность [4].

Качество пектина зависит не только от свойств сырья, из которого его получают, но и от способа подготовки к производству данного сырья. Яблочные выжимки содержат достаточное количество минеральных веществ и витаминов, однако даже после непродолжительного хранения сырых выжимок на открытом воздухе происходит их быстрое закисление и порча. Следовательно, необходимо их консервирование. Одним из наиболее распространенных способов является сушка.

При этом необходимо отметить, что при пониженном давлении сушка материала происходит при более низкой температуре, благодаря чему происходит минимизация разрушения пектина.

В литературе имеется множество данных о различных технологиях получения пектина [5, 6], его применении в пищевой промышленности [7, 8], влиянии агротехнических приемов выращивания на содержание пектина [3], но, к сожалению, крайне малочисленны данные о влиянии способов и режимов сушки пектинодержавшего сырья на качество и выход пектина.

Предлагается осуществлять сушку яблочных выжимок перегретым паром пониженного давления в импульсном виброкипящем слое. Данный способ сушки позволит снизить температуру сушильного агента, тем самым сохранив значительное количество полезных веществ в исходном продукте, а применение виброкипящего слоя с перегретым паром повысит величину коэффициентов тепло- и массообмена.

Материалы и методы

Для изучения кинетических и гидродинамических зависимостей процесса сушки яблочных выжимок в импульсном виброкипящем слое пониженного давления разработана экспериментальная установка (рисунок 1), позволяющая получать максимально точные и воспроизводимые результаты.

Параметры процесса сушки в каждом опыте поддерживаются постоянными в интервале значений: температура перегретого пара на входе в рабочую камеру $T_n = 393\text{--}453\text{ К}$, давление в камере $40\text{--}100\text{ КПа}$, скорость пара в рабочей камере $v_n = 3\text{--}5\text{ м/с}$. Амплитуда и частота колебаний газораспределительной решетки остаются неизменными и составляют соответственно $a = 7\text{ мм}$ и $f = 12,5\text{ Гц}$, частота пульсаций колебаний решетки изменяется от $f_n = 0,0083\text{ Гц}$ (1 пульсация в 2 мин) до $f_n = 0,04\text{ Гц}$ (1 пульсация в 25 с), начальная удельная нагрузка выжимок на решетку $q = 11\text{--}33\text{ кг/м}^2$, начальная влажность выжимок $W_n^c = 196\%$ по отношению к сухим веществам.

Угол наклона решетки α во всех опытах составляет 0° , а угол направления вибрации β равен 90° и тоже остается неизменным.

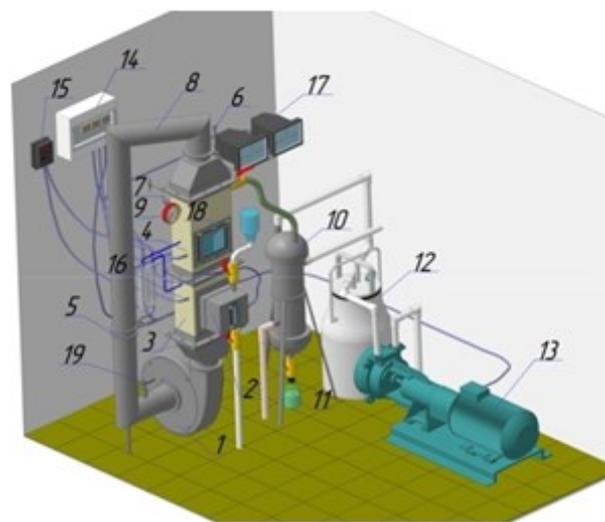


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки: 1 – вентилятор среднего давления; 2 – парогенератор; 3 – сушильная камера; 4 – газораспределительная решетка; 5 – камерная диафрагма; 6 – шток; 7 – устройство для загрузки материала; 8 – рециркуляционный трубопровод; 9 – вакуумметр; 10 – конденсатор; 11 – сборник конденсата; 12 – ресивер; 13 – водокольцевой вакуум-насос; 14 – щит управления; 15 – измеритель-регулятор температуры; 16 – хромель-копелевые термопары; 17 – манометры типа; 18 – окно разгрузки; 19 – заслонка

Figure 1. Scheme of the experimental setup: 1 – medium pressure fan; 2 – steam generator; 3 – drying chamber; 4 – gas distribution grid; 5 – chamber diaphragm; 6 – rod; 7 – material loading device; 8 – recirculation pipeline; 9 – vacuum meter; 10 – condenser; 11 – condensate collector; 12 – receiver; 13 – water-ring vacuum pump; 14 – control panel; 15 – temperature controller; 16-chromel – drip thermocouples; 17 – pressure gauges; 18 – window unloading; 19 – damper

Результаты и обсуждение

Кривые сушки, скорости сушки и кривые нагрева яблочных выжимок в импульсном виброкипящем слое при различных режимных параметрах процесса представлены на рисунке 2.

Характер изменения кривых соответствует периодам постоянной и убывающей скорости сушки. Причем конденсации перегретого пара на поверхности частиц не наблюдается. Это можно объяснить высокими коэффициентами тепло- и массообмена и высокой начальной влажностью выжимок, из-за которой уже в самый начальный момент процесса происходит испарение влаги с поверхности частиц.

Увеличение температуры перегретого пара от 120 до 180 °С при разряжении 60 кПа

способствует возрастанию скорости сушки в первом периоде на 50%. При этом температура продукта в этом периоде практически одинакова. Большее влияние на температуру продукта, как и ожидалось, оказывает разряжение в сушильной камере. Так, снижение давления от 100 до 40 кПа позволяет снизить температуру продукта в первом периоде с 95 до 70 °С, а конечная температура продукта не превышает 73–78 °С, что, несомненно, положительно сказывается на качестве готового продукта. При этом необходимо отметить, что время высушивания в данном опыте незначительно изменяется. Это объясняется изменением гидродинамической обстановки в камере при увеличении разряжения перегретого пара.

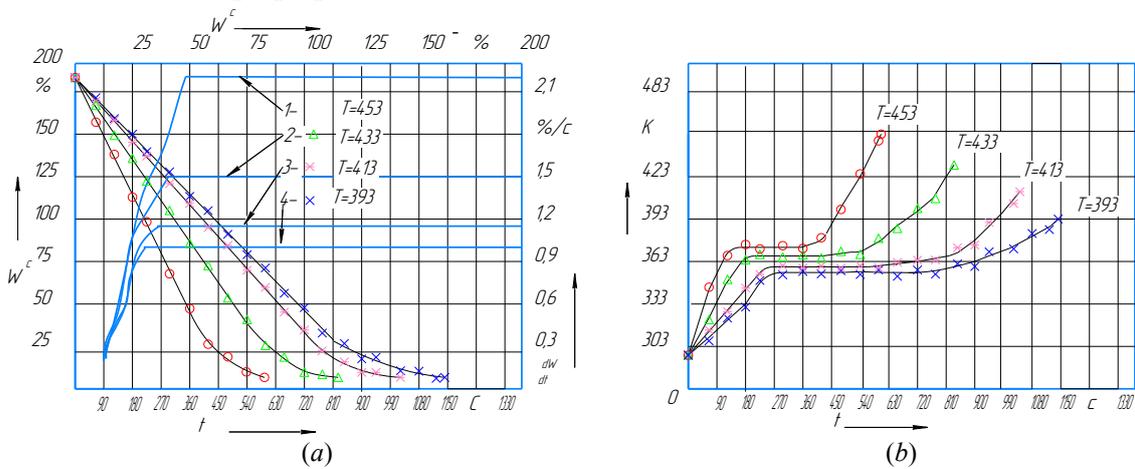


Рисунок 2. Кривые сушки $W^c = f(\tau)$ (1–4) и скорости сушки $dW^c/d\tau = f(W^c)$ (1–4) яблочных выжимок при различных температурах перегретого пара (a); кривые нагрева $T_m = f(\tau)$ яблочного жома при различных температурах перегретого пара (b), К
 Figure 2. Drying curves $W^c = f(\tau)$ (1-4) and drying rates $DWC/dt = f(WS)$ (1-4) Apple Marc at different temperatures of superheated steam (a); heating Curves $T_m = f(\tau)$ Apple pulp at different temperatures of superheated steam (b), К

Содержание пектиновых веществ в яблочных выжимках определялось кальций-пектатным методом. Метод основан на осаждении пектовых кислот в виде кальциевых солей. Это один из наиболее точных методов.

Он прост, доступен и имеет хорошую сходимость параллельных анализов.

Процентное содержание в яблочных выжимках пектина и протопектина представлено на гистограммах (рисунок 3).

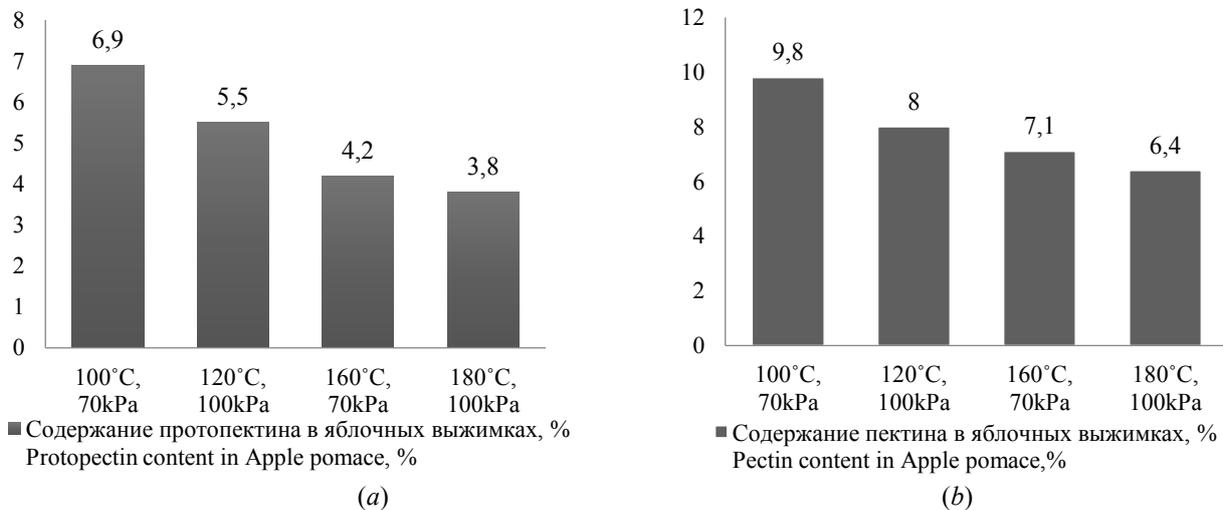


Рисунок 3. Содержание протопектина и пектина в сухих яблочных выжимках, %
 Figure 3. The content of protopectin and pectin in dry Apple pomace, %

Содержание в яблочных выжимках пектиновых веществ зависит от режимных параметров процесса сушки. В ходе проведенных экспериментов было получено процентное содержание пектина и протопектина. Наибольшее содержание пектина и протопектина в образце, высушенном при $T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $P = 70\text{ кПа}$.

Полученные результаты объясняются следующим образом. Протопектин входит в состав клеточной стенки плодов растений, а растворимый пектин – в состав внутри- и межклеточной жидкости. В процессе получения сока при переработке яблочного сырья растворимый пектин частично переходит в этот сок, а протопектин практически целиком остается в выжимках. Это объясняет значительное содержание протопектина в высушенных выжимках. Однако в них имеется существенное содержание растворимого пектина.

Сушка выжимок сопровождается двумя процессами – тепловым гидролизом протопектина при температуре более $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, в результате которого образуются растворимые пектины и ряд других продуктов гидролиза, и разрушением растворимого пектина, происходящим при повышенных температурах.

При низких температурах сушки и пониженном давлении растворимые пектины разрушаются в минимальной степени [9], но в то же время еще происходит гидролиз протопектинов,

в результате которого количество растворимых пектинов пополняется. Поэтому сушка выжимок при $T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $P = 70\text{ кПа}$ характеризуется максимальным содержанием растворимого пектина.

Увеличение температуры перегретого пара или давления приводит к росту температуры выжимок, соответственно значительно более интенсивно происходит разрушение пектина, а также заметно усиливается гидролиз протопектина. Поэтому содержание этих веществ в выжимках, высушенных при $T = 120\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $P = 100\text{ кПа}$, а также при $T = 160\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $P = 70\text{ кПа}$, снижается. Наиболее интенсивно эти процессы происходят при максимальной температуре и давлении ($T = 180\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $P = 100\text{ кПа}$).

Аналогичные опыты с сушкой жома сахарной свеклы перегретым паром показали, что в нем значительно больше протопектина и меньше растворимого пектина по сравнению с высушенными яблочными выжимками.

В ходе исследования мы приходим к выводу, что термическая устойчивость протопектина яблочных выжимок ниже по сравнению с жомом сахарной свеклы. Это следует из соотношения содержания протопектина при максимальной температуре сушки к содержанию при минимальной температуре для яблочных выжимок и жома сахарной свеклы (рисунок 4, а), которое характеризует термоустойчивость. С другой стороны, термоустойчивость пектина в яблочных выжимках оказывается довольно высокой (рисунок 4, б).

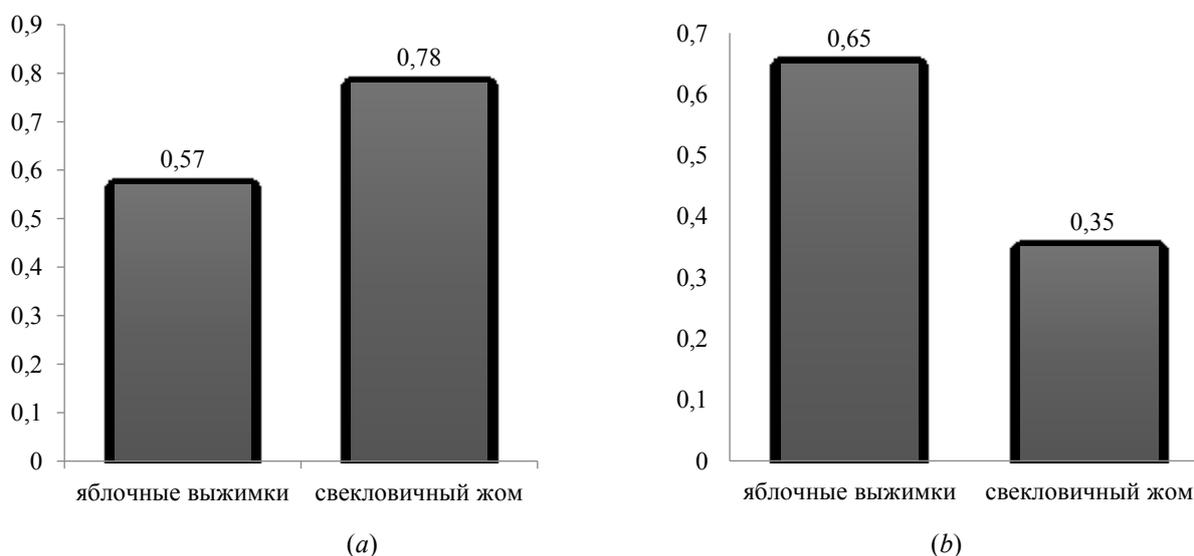


Рисунок 4. Отношение содержания протопектина при максимальной T° сушки $C_{пр\ max}$ и содержание при минимальной T° сушки $C_{пр\ min}$ (а); Отношение содержания пектина при максимальной T° сушки $C_{п\ max}$ и при минимальной T° сушки $C_{п\ min}$ (б)

Figure 4. The ratio of the protopectin content at the maximum Then drying SPR max and the content at the minimum Then drying SPR min (а); the Ratio of the pectin content at the maximum then drying SP max and at the minimum then drying SP min (б)

Это говорит о том, что в яблочных выжимках в ходе сушки интенсивно протекают процессы теплового гидролиза протопектина, сопровождающиеся тепловым разрушением небольшой части растворимого пектина. Значительная степень гидролиза протопектина при повышенной термоустойчивости пектина приводит к тому, что содержание протопектина в высушенных яблочных выжимках оказывается в 2,0–2,5 раза ниже, чем в свекольном жоме, а содержание растворимого пектина в 3–4 раза выше.

Заключение

Указанные особенности сушки определяют преимущественные области применения

ЛИТЕРАТУРА

- 1 Pagliaro M., Fidalgo A.M.A., Ciriminna R., Delisi R. Pectin Production and Global Market // *Agro Food Industry – Hi Tech*. 2016. № 27(5). P. 120–127.
- 2 Pedrolli D.B., Monteiro A.C., Gomes E., Carmona E.C. Pectin and Pectinases: Production, Characterization and Industrial Application of Microbial Pectinolytic Enzymes // *The Open Biotechnology Journal*. 2009. V. 3. P. 9–18.
- 3 Аверьянова Е.В., Школьников М.Н. Пектин: методы выделения и свойства. Бийск: АлтГТУ, 2015. 42 с.
- 4 Донченко Л.В., Темников А.В. Разработка способов повышения студнеобразующей способности низкоэтерифицированных пектинов // *Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения*. 2014. № 10. С. 25–29.
- 5 Sulieman A.M., Khodari K.M., Salih Z.A. Extraction of Pectin from Lemon and Orange Fruits Peels and Its Utilization in Jam Making // *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering*. 2013. № 3(5). P. 81–84.
- 6 Chan S.Y., Choo W.S. Effect of extraction conditions on the yield and chemical properties of pectin from cocoa husks // *Food Chemistry*. 2013. № 141. P. 3752–3758.
- 7 Galus S., Turska A., Lenart A. Sorption and Wetting Properties of Pectin Edible Films // *Czech J. Food Sci*. 2012. V. 30. № 5. P. 446–455.
- 8 Кенийз Н.В. Пектин и его роль в технологии хлебобулочных полуфабрикатов // *Молодой ученый*. 2015. № 2. С. 160–163.
- 9 Кварацхелия В.Н., Родионова Л.Я. Изменение аналитических характеристик пектиновых веществ яблок зимнего срока созревания при длительном влиянием низких температур // *Научный журнал КубГАУ*. 2014. № 100(06). С. 1–14.
- 10 Донченко Л.В., Фирсов Г.Г. Пектин: основные свойства, производство и применение. Москва: ДеЛи принт, 2007. 276 с.

сухих яблочных выжимок и жома сахарной свеклы. Сухие яблочные выжимки целесообразно использовать для получения растворимого пектина методом экстракции, а жом сахарной свеклы – для получения пищевых волокон.

Однако по органолептическим показателям пищевые волокна из яблочных выжимок могут иметь преимущество по сравнению с полученными из жома сахарной свеклы [10]. Поэтому при планируемом использовании яблочных выжимок для производства пищевых волокон их необходимо сушить в щадящем режиме из-за высокой термолабильности яблочного протопектина.

REFERENCES

- 1 Pagliaro M., Fidalgo A.M.A., Ciriminna R., Delisi R. Pectin Production and Global Market. *Agro Food Industry – Hi Tech*. 2016. no. 27(5). pp. 120–127.
- 2 Pedrolli D.B., Monteiro A.C., Gomes E., Carmona E.C. Pectin and Pectinases: Production, Characterization and Industrial Application of Microbial Pectinolytic Enzymes. *The Open Biotechnology Journal*. 2009. vol. 3. pp. 9–18.
- 3 Averyanova E.V., Shkolnikova M.N. Pektin: metody vydeleniya i svojstva [Pectin: methods of allocation and properties]. Bysk, AltSTU, 2015. 42 p. (in Russian)
- 4 Donchenko L.V., Temnikov A.V. Development of ways of increase in studneobrazuyushchy ability of low-esterified pectins. *Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy i puti ih resheniya* [Modern science: current problems and ways of their decision]. 2014. no. 10. pp. 25–29. (in Russian)
- 5 Sulieman A.M., Khodari K.M., Salih Z.A. Extraction of Pectin from Lemon and Orange Fruits Peels and Its Utilization in Jam Making. *International Journal of Food Science and Nutrition Engineering*. 2013. no. 3(5). pp. 81–84.
- 6 Chan S.Y., Choo W.S. Effect of extraction conditions on the yield and chemical properties of pectin from cocoa husks. *Food Chemistry*. 2013. no. 141. pp. 3752–3758.
- 7 Galus S., Turska A., Lenart A. Sorption and Wetting Properties of Pectin Edible Films. *Czech J. Food Sci*. 2012. vol. 30. no. 5. pp. 446–455.
- 8 Keniyz N.V. Pektin and its role in technology of bakery semi-finished products. *Molodoj uchenyj* [Young scientist]. 2015. no. 2. pp. 160–163. (in Russian)
- 9 Kvaratskheliya V.N., Rodionova L.Ya. Change of analytical characteristics of pectinaceous substances of apples of winter term of maturing at long influence of low temperatures. *Nauchnyj zhurnal KubGAU* [Scientific journal KubGAU]. 2014. no. 100(06). pp. 1–14. (in Russian)
- 10 Donchenko L.V., Firsov G.G. Pektin: osnovnyye svojstva, proizvodstvo i primeneniye [Pektin: the main properties, production and application] Moscow, DeLi print, 2007. 276 p. (in Russian)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Алексей В. Дранников д.т.н., профессор, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, drannikov@list.ru

Сергей А. Титов д.т.н., профессор, кафедра физики, теплотехники и теплоэнергетики, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, 125titov@mail.ru

Дарья В. Беломыльцева магистр, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, dbelomylceva@bk.ru

Надежда Н. Корышева аспирант, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, korysheva.nadya@mail.ru

Дарья К. Костина студент, кафедра машин и аппаратов пищевых производств, Воронежский государственный университет инженерных технологий, пр-т Революции, 19, г. Воронеж, 394036, Россия, kostina.dasha.2111@mail.ru

Артем М. Давыдов к.т.н., доцент, кафедра ресторанного бизнеса, Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Стремянный переулок, 36, Москва, 117997, Россия, amdavydov@mail.ru

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 02.10.2018

ПРИНЯТА В ПЕЧАТЬ 14.11.2018

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Aleksei V. Drannikov Dr. Sci. (Engin.), professor, machines and apparatuses for food production department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, drannikov@list.ru

Sergei A. Titov Dr. Sci. (Engin.), assistant professor, physics, heat engineering and power engineering department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, 125titov@mail.ru

Dariya V. Belomyltseva master student, machines and apparatuses for food production department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, dbelomylceva@bk.ru

Nadezhda N. Korysheva graduate student, machines and apparatuses for food production department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, korysheva.nadya@mail.ru

Dariya K. Kostina student, machines and apparatuses for food production department, Voronezh state university of engineering technologies, Revolution Av., 19 Voronezh, 394036, Russia, kostina.dasha.2111@mail.ru

Artem M. Davydov Cand. Sci. (Engin.), associate professor, department for Restaurant Business of the PRUE, Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny Lane, 36, Moscow, 117997, Russia, amdavydov@mail.ru

CONTRIBUTION

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

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare no conflict of interest.

RECEIVED 10.2.2018

ACCEPTED 11.14.2018