

УДК 664

## Аддитивное производство функциональных продуктов питания на основе пектина

*Скоморохова А.И., Щегольков А.В., Талыков В.А., Зорина А.О.*

**Аннотация.** Актуальность производства пектина обуславливается его полезными свойствами, являющимися предметом изучения отечественных и зарубежных ученых. На основе пектина изготавливают пищевую упаковку, оболочку для таблеток. Его используют в аддитивном производстве для придания материалу печати требуемой консистенции, а также в качестве жирозаменителя при диетическом питании. В статье предлагается линия получения пектина из крупноплодной тыквы сорта «Мичуринская», произрастающей в Тамбовской области. Представлена блок-схема линии комплексной переработки, которая включает не только производство пектина, но и создание растительных порошков, экстрактов, чипсов. Отходы производства отправляются на переработку для создания корма животным, что позволяет наиболее полно использовать потенциал перерабатываемого сырья. Предложено аппаратное оформление линии в виде установки для вакуумной очистки, двухступенчатой конвективной вакуумно-импульсной сушилки, двухступенчатой дисково-шаровой вакуумной мельницы, универсальной экстрактно-выпарной установки. Основным элементом всех установок является жидкостнокольцевой вакуумный насос, обеспечивающий щадящие температурные режимы, способствующие максимальному сохранению биологически активных веществ исходного сырья. Полученный пектин можно использовать в качестве связующего вещества при аддитивном производстве продуктов питания функционального назначения. Технологии трехмерной печати в пищевой промышленности в настоящее время пользуются значительным спросом, ввиду возможности создания блюд с определенным набором полезных свойств и заданными органолептическими показателями, что важно при производстве продуктов для диетического питания. Повышения эффективности 3D-печати и качества готового продукта можно повысить путем совершенствования конструкции пищевого принтера. В статье предлагается внедрение в принтер тепловых аккумуляторов, модернизация экструдера и разработка дополнительной камеры для вакуумного выпекания изделий из теста.

**Ключевые слова:** пектин, переработка, сушка, измельчение, экстрагирование, питание, 3D-принтер.

**Для цитирования:** Скоморохова А.И., Щегольков А.В., Талыков В.А., Зорина А.О. Аддитивное производство функциональных продуктов питания на основе пектина // Инновационная техника и технология. 2022. Т. 9. № 3. С. 28–35.

## Additive Manufacturing of Pectin-Based Functional Foods

*Skomorokhova A.I., Shchegolkov A.V., Talykov V.A., Zorina A.O.*

**Abstract.** The relevance of pectin production is determined by its useful properties, which are the subject of study by domestic and foreign scientists. On the basis of pectin, food packaging, a shell for tablets are made. It is used in additive manufacturing to give the print material the desired consistency, as well as a fat substitute in dietary nutrition. The article proposes a line for the production of pectin from a large-fruited pumpkin of the Michurinskaya variety growing in the Tambov region. A block diagram of the complex processing line is presented, which includes not only the production of pectin, but also the creation of vegetable powders, extracts, chips. Production waste is sent for processing to create animal feed, which allows the fullest use of the potential of the processed raw materials. The hardware design of the line is proposed in the form of a vacuum cleaning unit, a two-stage convective vacuum-impulse dryer, a two-stage disk-ball vacuum mill, and a universal extract-evaporator unit. The main element of all installations is a liquid ring vacuum pump, which provides gentle temperature conditions that contribute to the maximum preservation of biologically active substances of the feedstock. The resulting pectin can be used as a binder in the additive production of functional foods. 3D printing technologies in the food industry are currently in great demand, due to the possibility of creating dishes with

a certain set of useful properties and specified organoleptic parameters, which is important in the production of dietary foods. Improving the efficiency of 3D printing and the quality of the finished product can be improved by improving the design of the food printer. The article proposes the introduction of thermal accumulators into the printer, the modernization of the extruder and the development of an additional chamber for vacuum baking dough products.

**Keywords:** pectin, processing, drying, grinding, extraction, nutrition, 3D printer.

**For citation:** Skomorokhova A.I., Shchegolkov A.V., Talykov V.A., Zorina A.O. Additive Manufacturing of Pectin-Based Functional Foods. Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2022. Vol. 9. No. 3. pp. 28–35. (In Russ.).

## Введение

Разработка новых продуктов питания, обладающих функциональными свойствами, является важным направлением исследований в области пищевой промышленности. Придание функциональных свойств продуктам ежедневного рациона можно за счет обогащения их биологически активными веществами (БАВ). В настоящее время ведется активное изучение подходов к производству пищевых добавок в виде порошков и экстрактов, богатых БАВ, на основе растительного сырья [1]. Разработка пищевых композитов, добавка которых в регулярно потребляемые продукты будет обогащать их ингредиентами, необходимо для физиологически приемлемого питания людей [21, 22, 23].

Немаловажным в производстве функциональной продукции является способ приготовления. Так, перспективным представляется использование аддитивных технологий, позволяющих создавать блюда с определенным набором полезных компонентов, заданными вкусовыми качествами и удовлетворяющие индивидуальным потребностям различных групп населения, которым требуется особое питание [2]. Важной особенностью трехмерной печати является возможность использования дешевого нетрадиционного сырья, например, насекомых, мучных червей, водорослей и т.п., которые при традиционном производстве трудно, а зачастую невозможно, подать в эстетически приемлемом виде. Главное требование – подходящая



Рис. 1. Крупноплодная тыква сорта «Мичуринская»

для печати консистенция, которая обеспечивается тщательным подбором используемых материалов и связующего вещества [3].

Авторы работы [4] представили обширный обзор применения пектиновых гидрогелей, в том числе как связующего при трехмерной пищевой печати. Отмечаются возможность использования пектина в качестве жирозаменителя при диетическом питании, а также в качестве основы для создания пищевой упаковки или оболочки таблеток.

В статье [5] предложена рецептура спортивных напитков на основе пектина, которые включают жидкий яблочный пектин (производство Венгрия); пектин сухой, низкометоксилированный, амидированный быстрорастворимый цитрусовый (Производство КНР); аминокислотный комплекс незаменимых аминокислот – лейцин, изолейцин, валин, соотношение (производство Китай); мультивитаминный комплекс, быстро растворимая форма в виде порошка (производство Венгрия); концентрат сывороточного белка (Производство Россия). Как отмечается в работе [6] РФ является главным импортером пектина в связи с отсутствием собственного производства.

Вышеизложенное свидетельствует об актуальности изучения свойств пектиновых веществ и способов их получения в рамках реализации импортозамещения.

В работе предлагается использовать в качестве ингредиентов продукты переработки сельскохозяйственного сырья, произрастающих в условиях Центрального Черноземья, а в качестве связующего – пектин, полученный из тыквы сорта «Мичуринская» [7]. Особое внимание здесь необходимо уделять выбору наиболее подходящего оборудования и определению рациональных режимных параметров, в частности температуры, которые должны обеспечивать сохранение максимального количества БАВ на каждом из этапов переработки.

Целью работы является разработка технологической схемы комплексной переработки тыквы сорта «Мичуринская» с получением пектина для дальнейшего его применения в аддитивном производстве продуктов питания функционального назначения.

### Объекты и методы исследования

Объектом исследования является технология получения пектина из крупноплодной тыквы «Мичуринская», показанной на рис. 1.

При проведении исследования использовались методы, изложенные в источнике [13].

Именно этот сорт тыквы был выбран из-за его легкой доступности и большого содержания не только пектиновых веществ, но и других полезных компонентов (табл.1) [8].

Разрабатываемая линия комплексной переработки тыквы сорта «Мичуринская» с получением пектина включает вакуумную очистку, нарезку, сушку, экстрагирование и извлечение пектина. Для каждого из этапов переработки разработаны опытные установки и экспериментально определены режимные параметры процессов.

Устройство для очистки сырья паром под вакуумом и принцип его работы описывается в патенте [9]. Сушка осуществляется на двухступенчатой конвективной вакуумно-импульсной сушильной установке при осциллирующем режиме на первой ступени с температурой теплоносителя 75-20-50 °С. На второй ступени температура теплоносителя составляет 56 °С. Скорость теплоносителя на обеих ступенях равна 2,5 м/с. Влажность воздуха при проведении экспериментов составляла 30...50% [10, 11]. Экстрагирование сушеной тыквы «Мичуринская» с гидромодулем 1:5 осуществляется при температуре 55 °С в течение 45 минут на универсальной экстрактно-выпарной установке [12, 13]. Экстрагентом служит полученный в анодной камере диафрагменного электролизера после обработки водного раствора хлорида натрия анолит с pH 4,0-4,5. Электрохимическая активация обеспечивает щадящий режим одновременно с этим ускоряя процесс, и на выходе получается более качественный продукт. Извлечение пектина осуществляется путем прессования проэкстрагированного жома с

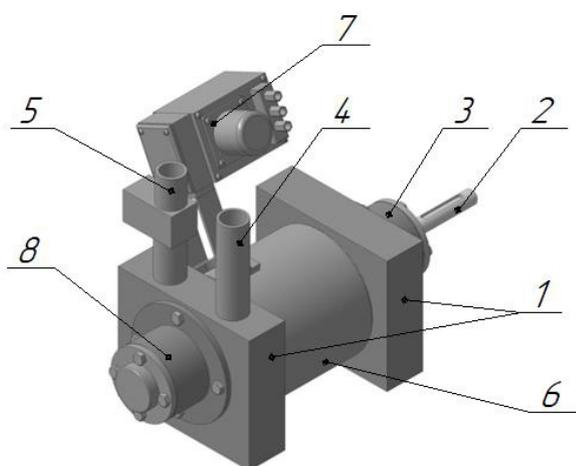


Рис. 2. ЖВН с устройством автоматического регулирования нагнетательного окна: 1 – боковые стойки; 2 – вал; 3, 8 – подшипниковые опоры; 4 – впускной патрубков; 5 – выпускной патрубков; 6 – корпус; 7 – нагнетательное устройство

Таблица 1 – Содержание некоторых веществ в тыкве сорта «Мичуринская»

Показатель	Содержание в % на 100г съедобной части
Сухие вещества	17,41
Сумма каратиноидов	4,17
Сумма пектиновых веществ	1,74
Сумма растворимых сахаров	1,74
Глюкоза	0,27
Фруктоза	0,93
Сахароза	0,54
Крахмал	1,24

дальнейшим смешением экстракта с гидролизатом. Из полученной смеси фильтрацией, концентрацией и осаждением с использованием этилового спирта извлекается пектин, который затем просушивается при температуре 55°С, измельчается и просеивается [14]. Здесь перспективным является применение мембранной фильтрации для извлечения пектина. В линии предусмотрено получение порошка сушеной тыквы на двухступенчатой дисково-шаровой вакуумной мельнице.

Важным элементом оборудования, входящего в линию, является жидкостнокольцевой вакуумный насос (ЖВН), который в зависимости от назначения имеет различную модификацию [15, 16]. На рис. 2 представлен модели одноступенчатого ЖВН с устройством автоматического регулирования нагнетательного окна.

Такой вакуумный насос применяется, когда требуется величина вакуума, превышающего 10 кПа и подходит для процессов, где требуется постоянное изменение этой величины, например, при измельчении для вакуумного отвода частиц заданной степени помола [17].

### Результаты

Блок-схема линии производства пектина из крупноплодной тыквы сорта «Мичуринская» представлена на рис.3.

При проектировании линии переработки растительного материала особое внимание уделяется выбору щадящих температурных параметров, исключающих денатурацию важных компонентов сырья, и выбору экологически безопасного энергоэффективного оборудования. Линия предполагает получение и других продуктов (чипсов, порошка, экстракта, корма животным), помимо пектина, что позволяет максимально использовать потенциал перерабатываемого сырья.

### Обсуждение

Перспективы использования пектина в аддитивном производстве продуктов питания приводят-

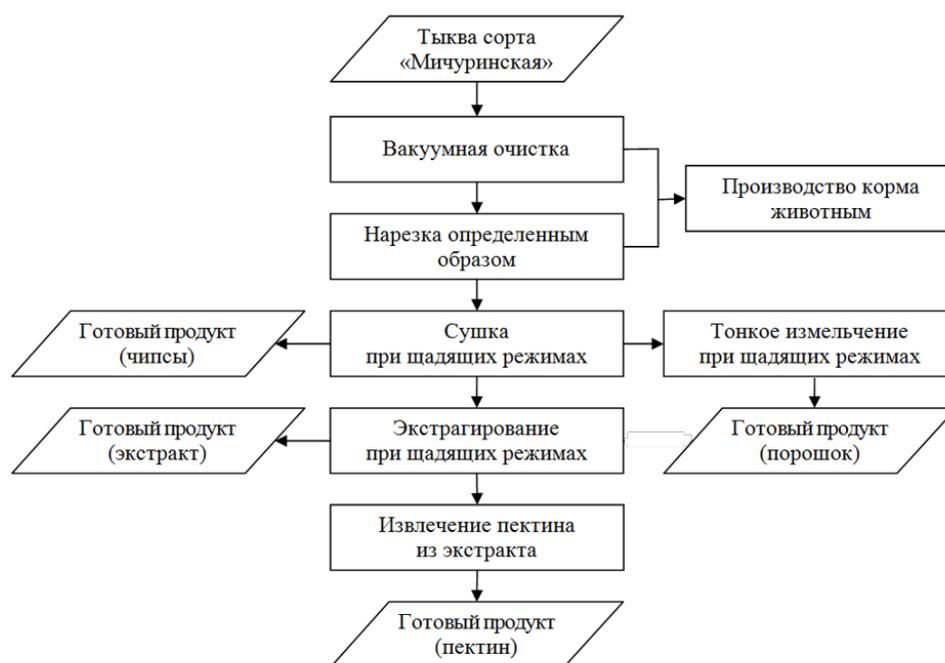


Рис. 3. Блок-схема комплексной переработки тыквы сорта «Мичуринская» с получением пектина

ся в статье [18]. Пектин хорошо подходит для придания требуемой консистенции материалу печати, а также на его основе можно создавать биоразлагаемую экологически безопасную упаковку или оболочку для таблеток [19]. Также там описана линия производства функциональных продуктов питания с применением трёхмерной печати. Важной частью проводимых исследований является разработка энергоэффективного экологически безопасного оборудования и обеспечение режимных параметров, исключающих денатурацию БАВ в процессе переработки.

Аддитивное производство также должно отвечать обозначенным требованиям, ввиду чего разрабатывается опытная установка пищевого 3D-принтера с встроенными теплоаккумулирующими элементами для повышения качества готового продукта, модифицированным экструдером для управления скоростью печати и вакуумной камерой для выпекания изделий из теста. Подробное описание предлагаемых улучшений изложено в работе [20].

### Выводы

Предложенная линия комплексной переработки крупноплодной тыквы сорта «Мичуринская» с получением пектина позволит не только создать

новую продукцию с высоким содержанием БАВ, но и значительно сократить отходы производства. Использование легкодоступного сырья уменьшит затраты на транспортировку и хранение, кроме того решается задача импортозамещения. Использование полученного пектина в трехмерной печати открывает новые возможности в области производства продуктов питания функционального назначения.

Перспективной дальнейших исследований является применение мембранных фильтров при извлечении пектина после экстрагирования, разработка рецептуры для пищевой печати, а также создание пробных образцов на основе пектина с заданными свойствами на опытной установке пищевого 3D-принтера.

**Работа выполнена при содействии фонда ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (Фонд содействия инновациям)» по договору №17503ГУ/2022 от 28.04.2022 г. «Разработка пищевого 3D-принтера для изготовления продуктов питания функционального назначения» в рамках конкурса УМНИК-21.**

### Литература

- [1] Герасименко, Н. Ф. Здоровое питание и его роль в обеспечении качества жизни / Н. Ф. Герасименко, В. М. Позняковский, Н. Г. Челнакова // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2016. № 4(12). С. 52-57. EDN VIPFHU.

### References

- [1] Gerasimenko, N. F. Zdorovoe pitanie i ego rol' v obespechenii kachestva zhizni / N. F. Gerasimenko, V. M. Poznyakovskii, N. G. Chelnakova // Tekhnologii pishchevoi i pererabatyvayushchei promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya. 2016. No. 4(12). pp. 52-57. EDN VIPFHU.

- [2] Cakmak H., Gumus C.E. 3D food printing with Improved functional properties: A review // International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry. 2020. No 4 (2). P. 178-192.
- [3] Дресвянников, В. А. Анализ применения аддитивных технологий в пищевой промышленности / В. А. Дресвянников, Е. П. Страхов, А. С. Возмищева // Продовольственная политика и безопасность. 2017. Т. 4. № 3. С. 133-139. DOI 10.18334/ppib.4.3.38500. EDN WZRJPC.
- [4] Ishwarya S P., Nisha P. Advances and prospects in the food applications of pectin hydrogels // Critical reviews in food science and nutrition. 2022. Vol. 62. No 16. P. 4393-4417.
- [5] Донченко, Л. В. Разработка рецептур напиток-концентратов на основе пектина для спортивного питания / Л. В. Донченко, А. В. Макаева // Инновационные направления интеграции науки, образования и производства : сборник материалов III Международной научно-практической конференции, Керчь, 11–15 мая 2022 года. Керчь: ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», 2022. С. 149-151. EDN EDQFCL.
- [6] Анализ параметров экстрагирования пектина из топинамбура с использованием ультразвука / И. Ж. Искаков, Е. Е. Ланина, В. Я. Кучеренко [и др.] // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2022. № 1. С. 129-136. EDN ONYKBQ.
- [7] Селекционное достижение тыква крупноплодная Мичуринская (Cucurbita maxima Duch): пат. 2752 РФ. / Скрипников Ю.Г.; заявл. 04.07.2000; опубл.14.06.2005.
- [8] Скоморохова, А. И. Разработка технологии производства пектина из крупноплодной тыквы Тамбовской области / А. И. Скоморохова, Э. С. Иванова, В. С. Ермаков // Импортзамещающие технологии и оборудование для глубокой комплексной переработки сельскохозяйственного сырья : материалы I Всероссийской конференции с международным участием, Тамбов, 24–25 мая 2019 года. Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2019. С. 449-452. EDN QCSBOYW.
- [9] Патент № 2570300 C1 Российская Федерация, МПК A23N 7/00. Энергосберегающее устройство для очистки растительного сырья паром : № 2014115182/13 : заявл. 15.04.2014 : опубл. 10.12.2015 / А. В. Щегольков, Ю. В. Родионов, Ю. Г. Скрипников [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВПО ТГТУ). EDN QNSAAM.
- [10] Зорин А.С. Совершенствование технологии и технических средств комбинированной вакуумной сушки растительного сырья для производства
- [2] Cakmak H., Gumus C.E. 3D food printing with Improved functional properties: A review // International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry. 2020. No 4 (2). P. 178-192.
- [3] Dresvyannikov, V. A. Analiz primeneniya additivnykh tekhnologii v pishchevoi promyshlennosti / V. A. Dresvyannikov, E. P. Strakhov, A. S. Vozmishcheva // Prodovol'stvennaya politika i bezopasnost'. 2017. T. 4. No. 3. pp. 133-139. DOI 10.18334/ppib.4.3.38500. EDN WZRJPC.
- [4] Ishwarya S P., Nisha P. Advances and prospects in the food applications of pectin hydrogels // Critical reviews in food science and nutrition. 2022. Vol. 62. No 16. P. 4393-4417.
- [5] Donchenko, L. V. Razrabotka retseptur napitkov-kontsentratorov na osnove pektina dlya sportivnogo pitaniya / L. V. Donchenko, A. V. Makaeva // Innovatsionnye napravleniya integratsii nauki, obrazovaniya i proizvodstva : sbornik materialov III Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Kerch', 11–15 maya 2022 goda. Kerch': FGBOU VO «Kerchenskii gosudarstvennyi morskoi tekhnologicheskii universitet», 2022. pp. 149-151. EDN EDQFCL.
- [6] Analiz parametrov ekstragirovaniya pektina iz topinambura s ispol'zovaniem ul'trazvuka / I. Zh. Iskakov, E. E. Lanina, V. Ya. Kucherenko [i dr.] // Tekhnologii pishchevoi i pererabatyvayushchei promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya. 2022. No. 1. pp. 129-136. EDN ONYKBQ.
- [7] Seleksionnoe dostizhenie tykva krupnoplodnaya Michurinskaya (Cucurbita maxima Duch): pat. 2752 RF. / Skripnikov Yu.G.; zayavl. 04.07.2000; opubl.14.06.2005.
- [8] Skomorokhova, A. I. Razrabotka tekhnologii proizvodstva pektina iz krupnoplodnoi tykvy Tambovskoi oblasti / A. I. Skomorokhova, E. S. Ivanova, V. S. Ermakov // Importozameshchayushchie tekhnologii i oborudovanie dlya glubokoi kompleksnoi pererabotki sel'skokhozaistvennogo syr'ya : materialy I Vserossiiskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, Tambov, 24–25 maya 2019 goda. Tambov: Tambovskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2019. pp. 449-452. EDN QCSBOYW.
- [9] Patent No. 2570300 C1 Rossiiskaya Federatsiya, MPK A23N 7/00. Energoberegayushchee ustroystvo dlya ochistki rastitel'nogo syr'ya parom : No. 2014115182/13 : zayavl. 15.04.2014 : opubl. 10.12.2015 / A. V. Shegol'kov, Yu. V. Rodionov, Yu. G. Skripnikov [i dr.] ; zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniya «Tambovskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet» (FGBOU VPO TGTU). EDN QNSAAM.
- [10] Zorin A.S. Sovershenstvovanie tekhnologii i tekhnicheskikh sredstv kombinirovannoi vakuumnoi sushki rastitel'nogo syr'ya dlya proizvodstva chipsov: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.20.01. Tambov, 2019. p. 156.

- чипсов: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Тамбов, 2019. С. 156.
- [11] Патент № 2548230 С2 Российская Федерация, МПК F26B 17/10, F26B 5/04. Энергосберегающая двухступенчатая сушильная установка для растительных материалов : № 2013111266/06 : заявл. 12.03.2013 : опубл. 20.04.2015 / Ю. В. Родионов, Д. В. Никитин, А. С. Зорин [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Тамбовский государственный технический университет» ФГБОУ ВПО ТГТУ, Общество с ограниченной ответственностью «Новые агрегаты вакуумной сушки» ООО Навакс». EDN YAYYDI.
- [12] Исследование и выбор режимных параметров экстрагирования биологически активных веществ из тыквы сорта «мичуринская» / С. П. Рудобашта, А. А. Гуськов, Ю. В. Родионов, Д. В. Никитин // Сушка, хранение и переработка продукции растениеводства : Сборник научных трудов Международного научно-технического семинара, посвящённого 175-летию со дня рождения К.А. Тимирязева, Москва, 22–23 мая 2018 года. Москва: Издательство «Перо», 2018. С. 189-196. EDN YAGZVR.
- [13] Патент № 2738938 С1 Российская Федерация, МПК B01D 11/02, B01D 1/22. Универсальная вакуумная экстрактно-выпарная установка : № 2019143887 : заявл. 23.12.2019 : опубл. 18.12.2020 / С. А. Анохин, Д. В. Никитин, Ю. В. Родионов [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»). EDN WAWULD.
- [14] Комплексная безотходная переработка тыквы сорта «Мичуринская» / Э.С. Иванова, А.Н. Бочарова, А.И. Скоморохова // В сборнике: «Проблемы техногенной безопасности и устойчивого развития» Выпуск X. Тамбов, 2018. С. 82-85.
- [15] Novel Construction of Liquid Ring Vacuum Pumps / Y. V. Rodionov, Y. T. Selivanov, D. V. Nikitin [et al.] // Chemical and Petroleum Engineering. 2019. Vol. 55. No 5-6. P. 473-479. DOI 10.1007/s10556-019-00648-z. EDN QSCFXF.
- [16] Design of Liquid-Ring Vacuum Pump with Adjustable Degree of Internal Compression / Y. V. Rodionov, Y. T. Selivanov, D. V. Nikitin [et al.] // Chemical and Petroleum Engineering. 2021. Vol. 57. No 5-6. P. 477-483. DOI 10.1007/s10556-021-00962-5. – EDN IEAPJM.
- [17] Совершенствование технологии получения порошков из растительного сырья / С. И. Данилин, Ю. Ю. Родионов, Ю. В. Родионов [и др.] // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2020. № 4. С. 150-159. EDN JITFII.
- [18] Vancauwenberghe V. et al. 3D printing of plant tissue for innovative food manufacturing: Encapsulation of
- [11] Patent No. 2548230 C2 Rossiiskaya Federatsiya, MPK F26B 17/10, F26B 5/04. Energosberegayushchaya dvukhstupenchataya sushil'naya ustanovka dlya rastitel'nykh materialov : No. 2013111266/06 : yayavl. 12.03.2013 : opubl. 20.04.2015 / Yu. V. Rodionov, D. V. Nikitin, A. S. Zorin [i dr.] ; zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniya «Tambovskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet» FGBOU VPO TGTU, Obshchestvo s ogranichennoi otvetstvennost'yu «Novye agregaty vakuumnoi sushki» OOO Navaks». EDN YAYYDI.
- [12] Issledovanie i vybor rezhimnykh parametrov ekstragirovaniya biologicheski aktivnykh veshchestv iz tykvy sorta «michurinskaya» / S. P. Rudobashta, A. A. Gus'kov, Yu. V. Rodionov, D. V. Nikitin // Sushka, khranenie i pererabotka produktsii rastenievodstva : Sbornik nauchnykh trudov Mezhdunarodnogo nauchno-tekhnicheskogo seminar, posvyashchennogo 175-letiyu so dnya rozhdeniya K.A. Timiryazeva, Moskva, 22–23 maya 2018 goda. Moskva: Izdatel'stvo «Pero», 2018. pp. 189-196. EDN YAGZVR.
- [13] Patent No. 2738938 C1 Rossiiskaya Federatsiya, MPK B01D 11/02, B01D 1/22. Universal'naya vakuumnaya ekstraktno-vyparnaya ustanovka : No. 2019143887 : yayavl. 23.12.2019 : opubl. 18.12.2020 / S. A. Anokhin, D. V. Nikitin, Yu. V. Rodionov [i dr.] ; zayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Tambovskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet» (FGBOU VO «TGTU»). EDN WAWULD.
- [14] Kompleksnaya bezotkhodnaya pererabotka tykvy sorta «Michurinskaya» / E.S. Ivanova, A.N. Bocharova, A.I. Skomorokhova // V sbornike: «Problemy tekhnogennoi bezopasnosti i ustoichivogo razvitiya» Vypusk X. Tambov, 2018. pp. 82-85.
- [15] Novel Construction of Liquid Ring Vacuum Pumps / Y. V. Rodionov, Y. T. Selivanov, D. V. Nikitin [et al.] // Chemical and Petroleum Engineering. 2019. Vol. 55. No 5-6. P. 473-479. DOI 10.1007/s10556-019-00648-z. EDN QSCFXF.
- [16] Design of Liquid-Ring Vacuum Pump with Adjustable Degree of Internal Compression / Y. V. Rodionov, Y. T. Selivanov, D. V. Nikitin [et al.] // Chemical and Petroleum Engineering. 2021. Vol. 57. No 5-6. P. 477-483. DOI 10.1007/s10556-021-00962-5. – EDN IEAPJM.
- [17] Sovershenstvovanie tekhnologii polucheniya poroshkov iz rastitel'nogo syr'ya / S. I. Danilin, Yu. Yu. Rodionov, Yu. V. Rodionov [i dr.] // Tekhnologii pishchevoi i pererabatyvayushchei promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya. 2020. No. 4. pp. 150-159. EDN JITFII.
- [18] Vancauwenberghe V. et al. 3D printing of plant tissue for innovative food manufacturing: Encapsulation of alive plant cells into pectin based bio-ink // Journal of Food Engineering. 2019. Vol. 263. pp. 454-464.
- [19] Pektin-Zeinovye geli dlya inkapsulirovaniya lekarstvennykh sredstv i pishchevykh ingredientov / Kh. I. Tshaev, D. T. Bobokalonov, A. S. Dzhonmurodov [i

- alive plant cells into pectin based bio-ink // Journal of Food Engineering. 2019. Т. 263. С. 454-464.
- [19] Пектин-Зеиновые гели для инкапсулирования лекарственных средств и пищевых ингредиентов / Х. И. Тешаев, Д. Т. Бобокалонов, А. С. Джонмуродов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2011. Т. 54. № 11. С. 97-100. EDN OIVCWH.
- [20] Скоморохова, А. И. Концепция пищевого 3D-принтера для изготовления продуктов питания функционального назначения / А. И. Скоморохова, Д. С. Алексенцев // Проблемы техногенной безопасности и устойчивого развития : Сборник научных статей молодых ученых, аспирантов и студентов. Том Выпуск XIII. Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», 2021. С. 56-59. EDN EDWFHE.
- [21] Оптимизация состава зернопродуктов при получении пивного суслу с использованием экструдированного ячменя / Г. В. Шабурова, А. А. Курочкин, П. К. Воронина, Д. И. Фролов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2014. – № 6(22). – С. 103-109. – EDN TKJLIH.
- [22] Рациональные технологические параметры при производстве поликомпонентного композита на основе семян льна / В. М. Зимняков, О. Н. Кухарев, А. А. Курочкин, Д. И. Фролов // Нива Поволжья. – 2017. – № 4(45). – С. 157-163. – EDN ZTIERL.
- [23] Повышение эффективности обезвоживания экструдата в вакуумной камере модернизированного экструдера / Д. И. Фролов, А. А. Курочкин, П. К. Гарькина [и др.] // Нива Поволжья. – 2019. – № 2(51). – С. 134-143. – EDN BIRIFZ.
- dr.] // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Seriya: Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya. 2011. Vol. 54. No 11. pp. 97-100. EDN OIVCWH.
- [20] Skomorokhova, A. I. Kontsepsiya pishchevogo 3D-printera dlya izgotovleniya produktov pitaniya funktsional'nogo naznacheniya / A. I. Skomorokhova, D. S. Aleksentsev // Problemy tekhnogennoi bezopasnosti i ustoichivogo razvitiya : Sbornik nauchnykh statei molodykh uchenykh, aspirantov i studentov. Tom Vypusk XIII. Tambov : Izdatel'skii tsentr FGBOU VO «Tambovskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet», 2021. pp. 56-59. EDN EDWFHE.
- [21] Optimization of the composition of grain products when obtaining beer wort using extruded barley / G. V. Shaburova, A. A. Kurochkin, P. K. Voronina, D. I. Frolov // XXI century: results of the past and problems of the present plus . - 2014. - No. 6(22). - pp. 103-109. – EDN TKJLIH.
- [22] Rational technological parameters in the production of a polycomponent composite based on flax seeds / V. M. Zimnyakov, O. N. Kukharev, A. A. Kurochkin, D. I. Frolov // Niva Povolzhya. - 2017. - No. 4 (45). - pp. 157-163. – EDN ZTIERL.
- [23] Improving the efficiency of extrudate dehydration in the vacuum chamber of a modernized extruder / D. I. Frolov, A. A. Kurochkin, P. K. Garkina [et al.] // Niva Povolzhya. - 2019. - No. 2 (51). - pp. 134-143. – EDN BIRIFZ.

## Сведения об авторах

## Information about the authors

<p><b>Скоморохова Анастасия Игоревна</b> аспирант кафедры «Компьютерно-интегрированные системы в машиностроении» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» 392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106/5 <b>Тел.:</b> +7(915) 887-01-15 <b>E-mail:</b> nasta373@mail.ru</p>	<p><b>Skomorokhova Anastasia Igorevna</b> postgraduate student of the department «Computer-integrated systems in mechanical engineering» Tambov State Technical University <b>Phone:</b> +7(915) 887-01-15 <b>E-mail:</b> nasta373@mail.ru</p>
<p><b>Щегольков Александр Викторович</b> кандидат технических наук доцент кафедры «Техника и технологии производства нанопродуктов» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» 392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106/5 <b>Тел.:</b> +7(920) 475-73-37 <b>E-mail:</b> energynano@yandex.ru</p>	<p><b>Shchegolkov Alexander Viktorovich</b> PhD in Technical Sciences associate professor at the department of «Technique and Technology for the Production of Nanoproducts» Tambov State Technical University <b>Phone:</b> +7(920) 475-73-37 <b>E-mail:</b> energynano@yandex.ru</p>
<p><b>Талыков Валерий Александрович</b> директор Тамбовский филиал ФГБОУ ВО «Мичуринский ГАУ» 392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 130, № 3 <b>Тел.:</b> +7(475) 272-00-35 <b>E-mail:</b> vtalykov@gmail.com</p>	<p><b>Talykov Valery Alexandrovich</b> director Tambov branch of Michurinsky State Agrarian University Tambov branch of Michurinsky State Agrarian University <b>Phone:</b> +7(475) 272-00-35 <b>E-mail:</b> vtalykov@gmail.com</p>
<p><b>Зорина Ольга Александровна</b> аспирант кафедры «Механика и инженерная графика» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» 392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106/5 <b>Тел.:</b> <b>E-mail:</b> zorina.olya90@gmail.com</p>	<p><b>Zorina Olga Alexandrovna</b> postgraduate at the department of «Mechanics and engineering graphics» Tambov State Technical University <b>Phone:</b> <b>E-mail:</b> zorina.olya90@gmail.com</p>