

Технология и аппаратурное оформление производства инулинсодержащего порошка

Дмитрий А. Казарцев	¹	kda_79@mail.ru	 0000-0001-6597-2327
Анатолий А. Славянский	¹	a.slavyanskiy@mgutm.ru	 0000-0002-0262-8841
Андрей И. Ключников	¹	kaivanov@mail.ru	 0000-0002-8161-0040
Наталья Н. Лебедева	¹	n.lebedeva@mgutm.ru	 0000-0003-4936-7498
Николай Д. Лукин	²	vniik@arrisp.ru	 0000-0002-2142-1897
Татьяна С. Пучкова	²	puchkovats@yandex.ru	 0000-0002-7657-6730

1 Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет), ул. Земляной вал, д. 73, г. Москва, 109004, Россия

2 Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья – филиал «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха», ул. Некрасова, д. 11, дп. Красково, г.о. Люберцы, Московская обл., 140051, Россия

Аннотация. Проблема хранения клубней топинамбура действительно может быть препятствием для широкого использования этого растения в пищевой промышленности. Топинамбур имеет высокую влажность и склонен к быстрой порче при неправильном хранении, особенно если условия окружающей среды не контролируются должным образом. Разработка эффективных решений для хранения и переработки топинамбура открывает новые возможности для его использования в пищевой индустрии. Современные технологии позволяют минимизировать риски порчи сырья и улучшить качество конечной продукции. Это создаёт предпосылки для расширения применения топинамбура в различных отраслях, включая пищевую промышленность. Разработанная технологическая схема включает последовательные этапы: предварительную подготовку и мойку сырья, механическое измельчение клубней, экстракцию инулина, фильтрацию и очистку экстракта, вакуумное выпаривание и финальную распылительную сушку. В ходе исследований установлено, что выбранные режимы сушки (температура до 180°C) позволяют сохранить углеводный состав порошка неизменным, обеспечивая содержание инулина на уровне 84–85%. Это гарантирует сохранение пребиотических свойств и функциональной ценности готового продукта. Полученный инулинсодержащий порошок отличается низким уровнем остаточной влажности, что способствует увеличению сроков хранения и снижению риска микробиологической порчи. Технология минимизирует потери сырья, снижает энергозатраты и упрощает процессы упаковки и транспортировки. Кроме того, комплексная переработка позволяет эффективно использовать побочные продукты, повышая рентабельность производства. Внедрение данной технологии в промышленность открывает перспективы для импортозамещения и создания локального производства высококачественного инулина, востребованного на растущем рынке функционального питания и биологически активных добавок. Таким образом, разработанная технология способствует расширению использования топинамбура и устойчивому развитию агропромышленного комплекса.

Ключевые слова: инулин, инулинсодержащий порошок, топинамбур, технология переработки топинамбура, аппаратурное оформление.

Technology and equipment for the production of inulin-containing powder

Dmitriy A. Kazartsev	¹	kda_79@mail.ru	 0000-0001-6597-2327
Anatoliy A. Slavyanskiy	¹	a.slavyanskiy@mgutm.ru	 0000-0002-0262-8841
Andrey I. Klyuchnikov	¹	kaivanov@mail.ru	 0000-0002-8161-0040
Natalya N. Lebedeva	¹	n.lebedeva@mgutm.ru	 0000-0003-4936-7498
Nikolay D. Lukin	²	vniik@arrisp.ru	 0000-0002-2142-1897
Tatyana S. Puchkova	²	puchkovats@yandex.ru	 0000-0002-7657-6730

1 K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (FCU), Zemlyanoy val st., 73, Moscow, 109004, Russia

All-Russian Research Institute of Starch and Starch-Containing Raw Materials Processing – Branch of Russian Potato Research Centre, 2 Nekrasova St., 11, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, 140051, Russia

Abstract. The problem of storing jerusalem artichoke tubers can indeed be an obstacle to the widespread use of this plant in the food industry. Jerusalem artichoke has high humidity and is prone to rapid deterioration if stored improperly, especially if environmental conditions are not properly controlled. The development of effective solutions for the storage and processing of jerusalem artichoke opens up new opportunities for its use in the food industry. Modern technologies make it possible to minimize the risks of spoilage of raw materials and improve the quality of final products. This creates the prerequisites for expanding the use of jerusalem artichoke in various industries, including the food industry. The developed technological scheme includes successive stages: preliminary preparation and washing of raw materials, mechanical crushing of tubers, inulin extraction, filtration and purification of the extract, vacuum evaporation and final spray drying. In the course of research, it was found that the selected drying modes (temperature up to 180 °C) make it possible to keep the carbohydrate composition of the powder unchanged, ensuring the inulin content at the level of 84-85%. This ensures that the prebiotic properties and functional value of the finished product are preserved. The resulting inulin-containing powder has a low level of residual moisture, which helps to increase shelf life and reduce the risk of microbiological spoilage. The technology minimizes the loss of raw materials, reduces energy consumption and simplifies packaging and transportation processes. In addition, complex processing allows efficient use of by-products, increasing the profitability of production. The introduction of this technology into industry opens up prospects for import substitution and the creation of local production of high-quality inulin, which is in demand in the growing market of functional nutrition and dietary supplements. Thus, the developed technology contributes to the expansion of the use of jerusalem artichoke and the sustainable development of the agro-industrial complex.

Keywords: inulin, inulin-containing powder, jerusalem artichoke, jerusalem artichoke processing technology, hardware design.

Для цитирования

Казарцев Д.А., Славянский А.А., Ключников А.И., Лебедева Н.Н., Лукин Н.Д., Пучкова Т.С. Технология и аппаратурное оформление производства инулинсодержащего порошка // Вестник ВГУИТ. 2024. Т. 85. № 4. С. 191–200. doi:10.20914/2310-1202-2024-4-191-200

For citation

Kazartsev D.A., Slavyanskiy A.A., Klyuchnikov A.I., Lebedeva N.N., Lukin N.D., Puchkova T.S. Technology and equipment for the production of inulin-containing powder. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2024. vol. 85. no. 4. pp. 191–200. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2024-4-191-200

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

Введение

В последние годы в мировой практике серьезное внимание уделяется проблеме ухудшения состояния окружающей среды и ее влияния на технологию производства, качество и безопасность пищевой продукции.

Сложившаяся в этом направлении в России экологическая ситуация обусловлена в первую очередь промышленными загрязнениями окружающей среды, что является одной из причин различных пищевых заболеваний россиян. При этом данная проблема обусловлена реальными условиями производства пищевой продукции на предприятиях отрасли [1, 2].

Поэтому в настоящих условиях четко определена задача о производстве неприхотливых растительных культур с регулируемым химическим составом, в которых можно регулировать накопление, например, тяжелых примесей. При этом их можно культивировать без особых материальных затрат и агротехнических приемов. В определенной мере к ним можно отнести такие инулинсодержащие растения, как топинамбур и цикорий. В последние годы они стали предметом существенных научных экспериментов не только в России, но и в Европе, Китае, США и т. д. Возможности использования этих растений как многоцелевого сырья потребовали новых подходов в создании перспективных технологий их переработки [3].

Подобный подход позволяет конкретизировать выводы о том, что экологическая составляющая в производстве продуктов питания может играть существенную роль, например, уточнить агротехнические условия корректирования выпускаемой продукции. Поэтому в современном мире весьма актуальным являются не только требования к качеству и безопасности продуктов питания, но и к сырьевой базе для их производства. Причем, совсем по-новому звучат особенности выращивания растительного сырья с позиций накопления в нем нежелательных компонентов, с которыми затем следует бороться в технологическом процессе выработки пищевой продукции [4].

Сегодня в этом направлении уже работают ученые различных стран. Результатом подобных разработок являются предпосылки по использованию данного сырья для разработки фитопрепаратов, биологически активных веществ, функциональных продуктов питания, биокорректоров, биоэтанола и др. Особое внимание при этом уделяется функциональному и лечебному питанию, соответствующим технологиям его реализации с учетом персонализации здоровья человека [2, 5, 6].

Обращается также внимание на новые инновационные подходы в подготовке посевных площадей, использование эффективных

биопрепаратов, повышение устойчивости к болезням и вредителям растительного сырья и др.

Вместе с тем ограниченные возможности хранения клубней топинамбура препятствуют его широкому использованию в пищевой индустрии. Определенное влияние на использование подобного сырья оказывает недостаточно развитая инфраструктура для его возделывания и переработки в промышленных масштабах [7].

Следует отметить новые и эффективные разработки в области хранения растительного сырья, что также, в частности, касается топинамбура и цикория. Это обусловлено тем, что решается не только сохранность сырья, но и подбор более эффективных технологий его последующей переработки [8].

Можно также отметить то, что в настоящее время накоплен значительный производственный опыт в области переработки и хранения растительного сырья.

Важной особенностью данного подхода является то, что такое сырье является возобновляемым. Причем топинамбур не страдает серьезными заболеваниями и в отличие от цикория культивируется на различных почвах. Помимо этого, его возделывание не требует использования пестицидов и больших материальных затрат. Его можно выращивать в различных климатических зонах, он устойчив к засухе и болезням. Большое значение имеет также то, что топинамбур подходит для органического земледелия и растет в условиях недостатка воды [9].

В мировой практике площадь посевов топинамбура составляет 2,5 млн га. Средняя урожайность его оценивается в 50–60 тонн клубней с одного гектара. Во Франции, например, на посевные площади топинамбура приходится 250 тыс. гектар при урожайности 7,5 млн т. По статистическим данным США урожайность топинамбура в этой стране равняется 28 млн т, а в Канаде – 13 млн т. В настоящее время трудно отыскать европейскую страну, где бы ученые и агрономы не занимались выращиванием и переработкой топинамбура. Большие возможности и особенно перспективы в возделывании и переработке топинамбура на инулин имеет Россия. Вместе с этим площадь его выращивания сегодня освоена еще недостаточно и составляет около 3 тыс. га с разбросом по таким регионам, как Краснодарский и Ставропольский край, Чувашская Республика и др. Поэтому в России данная сельскохозяйственная культура до сих пор считается «нетрадиционной» [10].

При этом по сравнению с цикорием топинамбур имеет ряд преимуществ. В основном это касается сырьевых особенностей, их дальнейшего восполнения, урожайности, количества зеленой массы и ее питательной ценности.

Производством инулина из топинамбура и цикория занимаются такие компании как «Beneo-Orafti SA», «Cosucra Groupe Warcoing SA» (Бельгия) и «Sensus» (Нидерланды). Интересные разработки в этом направлении проводятся в Китае [11, 12].

В настоящее время в мировой практике вырабатывают инулин, имеющий высокие пребиотические свойства. Оценивая тенденции развития и перспективность производства инулина в России, а также с учетом достигнутых в этом направлении результатов можно отметить их реальность и перспективность дальнейшего его совершенствования. Такой подход тесно связан с необходимостью дальнейшей интенсификации его основных технологических операций [13].

Исходным соединением для синтеза инулина является сахароза (рисунок 1). Этот дисахарид образуется в процессе фотосинтеза в листьях растения и далее транспортируется через флоэму к органам хранения, таким как корни или клубни.

На первом этапе (синтез 1-kestozы) под действием фермента сахароза-сахароза-фруктозилтрансфераза (1-SST) две молекулы сахарозы взаимодействуют между собой. В результате этой реакции одна молекула сахарозы расщепляется на глюкозу и фруктозу, а вторая остаётся целой. Затем фруктоза переносится на вторую молекулу сахарозы, формируя трисахарид 1-kestozу, который содержит одну молекулу глюкозы и две молекулы фруктозы.

Далее на втором этапе (полимеризация фруктозы) вступает в действие другой фермент – фруктан-фруктан-фруктозилтрансфераза (1-FFT). Этот фермент последовательно переносит остатки фруктозы от 1-kestozы или других фруктанов к сахарозе, или уже существующему инулину. Каждый такой перенос способствует увеличению длины цепочки инулина на одно звено фруктозы. Повторяя этот процесс многократно, можно получить длинные цепи инулина, состоящие из десятков или даже сотен остатков фруктозы [14].

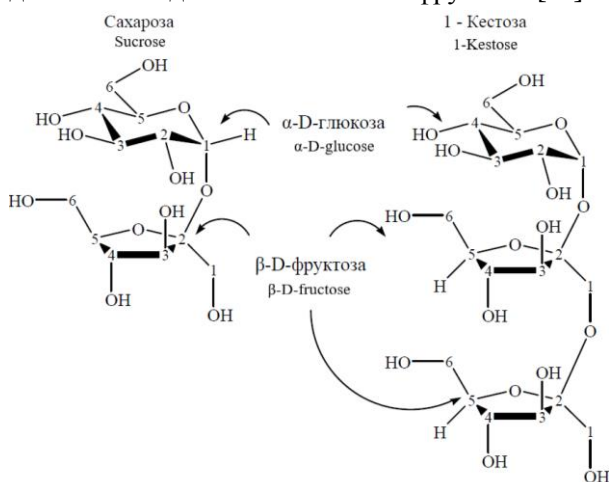


Рисунок 1. Начальная стадия биосинтеза инулина в клетках растений

Figure 1. The initial stage of inulin biosynthesis in plant cells

Концентрация сахарозы в клетках играет ключевую роль в скорости накопления инулина. Чем больше доступного субстрата (сахарозы), тем быстрее могут протекать процессы синтеза 1-kestozы и последующего наращивания цепочек инулина. Активность ферментов 1-SST и 1-FFT также критична для эффективности этих реакций. Высокая активность этих ферментов способствует быстрому превращению сахарозы в инулин и увеличению его содержания в растительных тканях.

Таким образом, биосинтез инулина включает два основных этапа: образование 1-kestozы из сахарозы и последующая полимеризация фруктозных остатков. Концентрация сахарозы и активность ключевых ферментов определяют скорость и эффективность этого процесса, что напрямую влияет на накопление инулина в клетках растительной ткани [15].

В настоящее время в России зарождается промышленное производство инулина из топинамбура. Причем его в основном перерабатывают на сухой порошок и используют в виде БАД. Поэтому направление на создание промышленного производства инулина в России позволит обеспечить ее рынок высококачественной продукцией лечебного и профилактического назначения [16, 17].

Научные исследования и практический опыт показывают, что топинамбур является перспективным растением для развития не только сельского хозяйства, но и пищевой промышленности. При этом его разноплановое использование может способствовать как улучшению питания населения, так и развитию на его основе экологически чистых промышленных технологий [7].

Существует мировой тренд на увеличение производства продукции функционального и диетического назначения. Особо ощущается спрос на функциональные ингредиенты, включая инулин и олигофруктозу. Россия импортирует эти компоненты, хотя обладает как сырьевыми, так и технологическими возможностями для создания собственного производства, что особенно важно с позиций импортозамещения [18].

Реализация подобного потенциала требует современных инновационных разработок, адаптированных к биохимическим свойствам инулинсодержащего сырья и, при этом, имеющего возможность его эффективного использования. Представляется, что разработка новых видов продукции с учетом интегрирующих ингредиентов, будет способствовать их быстрому освоению на соответствующих рынках.

В последние десятилетия в производстве инулина были достигнуты и на современном уровне обоснованы технические подходы к его переработке. Не последнее значение при этом играет возобновляемость его сырьевой базы и внедрение на этой основе практически безотходных технологий (рисунок 2).

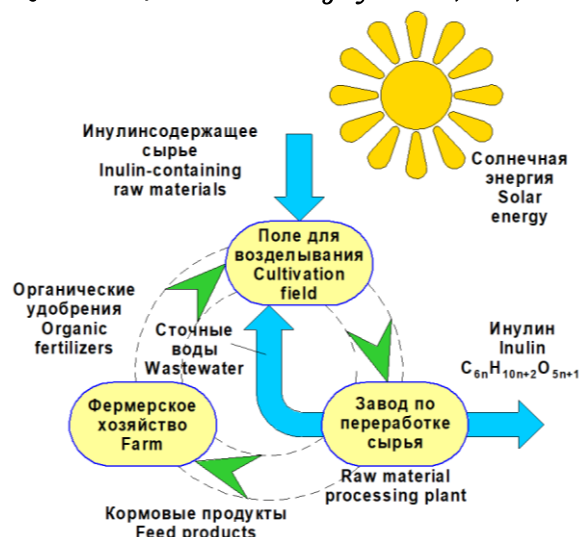


Рисунок 2. Биологически замкнутая система выращивания и переработки инулинсодержащего сырья
Figure 2. Biologically closed system for growing and processing inulin-containing raw materials

Тем не менее, экологические вопросы остаются приоритетными для многих предприятий, перерабатывающих инулинсодержащее сырье. Это связано, прежде всего, с высоким потреблением воды в производственных процессах и растущими ценами на тепло- и электроэнергию для утилизации побочных продуктов. Применение менее энергозатратных технологий с более простой схемой требует создания дорогих очистных сооружений для биологической обработки сточных вод, содержащих повышенное количество органических веществ. Кроме того, использование упрощенных технологий приводит к большому количеству потерь сухих веществ в сточных водах [1].

При анализе завода, перерабатывающего инулинсодержащее сырье, можно выделить три основных подхода к его работе:

- 1) внедрение современной энергоемкой безотходной технологии с полной переработкой побочных продуктов;
- 2) применение менее энергозатратных технологий и строительство очистных сооружений;
- 3) работа завода по упрощенной технологии без очистных систем и уплаты штрафов за сброс неочищенных сточных вод.

В современных условиях предприятия, перерабатывающие инулинсодержащее сырье, функционируют по всем трем направлениям, хотя их разделение является условным, т. к. очистные сооружения необходимы даже при энергоемких технологиях. В нынешних рыночных условиях на деятельность данных предприятий негативно влияют высокие банковские ставки, затрудняющие

инвестиции в модернизацию и внедрение безотходных технологий. Растущая доля стоимости энергетических ресурсов в себестоимости инулина вынуждает предприятия отказываться от эффективных, но дорогостоящих процессов полной утилизации побочных продуктов. Это создает необходимость поиска более доступных и менее энергозатратных способов переработки инулинсодержащего сырья [19-20].

Организация промышленного производства инулина и его производных из топинамбура в России позволит расширить ассортимент продуктов на его основе. В первую очередь это касается продукции пищевого назначения и пониженной калорийности для диетического и диабетического питания, а также оздоровительного и профилактического питания населения.

Цель работы – разработка рациональной технологии и ее аппаратного оформления по переработке топинамбура на инулинсодержащий порошок с оценкой его углеводного состава.

Материалы и методы

Объектами исследования являются технология и ее аппаратное оформление для переработки топинамбура на инулинсодержащий продукт, а также оценка готовой продукции – инулинсодержащего порошка.

Исследования проводились с учетом требований международной организации по стандартизации ISO (ИСО). При этом оценку качества образцов инулинсодержащего порошка проводили по таким физико-химическим показателям как массовая доля в нем сухого вещества, протеина и золы, а также был проанализирован его углеводный состав.

Массовую долю сухого вещества в порошке инулина определяли на лабораторном рефрактометре марки «ТАГЛЕР ИРФ-Компакт». Содержание в нем золы находили методом сжигания образцов в муфельной печи при температуре 650 °С. Массовую долю протеина определяли методом Кьельдаля на приборе К-424 фирмы «BUCHI Labortechnik» (Германия).

Для уточнения углеводного состава образцов полученного инулинсодержащего порошка использовали жидкостной хроматограф с рефрактометрическим датчиком компании «Gilson».

Результаты и обсуждение

На основе проведенных исследований в лабораториях «МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ)» и «ВНИИ крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья», а также путем подбора оптимальных технологических режимов,

разработана и обоснована машинно-аппаратурная линия переработки клубней топинамбура на инулинсодержащий порошок, которая представлена на рисунке 3.

В соответствии с представленной на рисунке 3 схемой, поступающие в цех на переработку клубни топинамбура загружают в соответствующий бункер 1.

При значительной загрязненности его клубней, первым этапом их обработки является предварительное замачивание. Этот процесс реализуется в специальной ванне промыванием в холодной воде. С этой целью клубни топинамбура из бункера 1 транспортируются передаточным транспортером 2 к ванне 3 для их замачивания. Эта технологическая операция позволяет улучшить удаление загрязнений с клубней топинамбура, что значительно облегчает их последующую очистку. После замачивания клубни подвергаются двухстадийной мойке, которая осуществляется в чистой проточной воде. В процессе мойки используются две специализированные машины: барботажная 4 и щеточная 5. Барботажная мойка основана на принципе пузырьковой аэрации в моечной воде, что позволяет более эффективно удалить загрязнения с поверхности клубней без их повреждения. Для этого в моечной воде образуют пузырьки воздуха, которые поднимаются и обмывают клубни, тем самым способствуя отслаиванию грязи.

Следующий этап осуществляется в щеточной мойке, где клубни топинамбура обрабатываются и очищаются щетками. При этом они аккуратно и эффективно удаляют с поверхности клубней остаточные загрязнения. При этом важно избегать механических повреждений корнеплодов, так как поврежденные клубни станут причиной возрастания потерь инулина в случае механического повреждения их клеточной структуры. К тому же полученные повреждения клубней могут быть причиной повышенного содержания в них микроорганизмов и различного рода заболеваний, например, гниения, что снизит их качество и срок хранения.

Помимо этого, важно учитывать то, что чистота клубней не только влияет на их внешний вид, но и на безопасность последующего потребления их готовой продукции. Такая возможность обусловлена тем, что загрязненные корнеплоды могут содержать патогенные микроорганизмы и токсины, которые, в свою

очередь, могут вызвать различные пищевые отравления. Поэтому тщательная мойка и очистка клубней – это не только вопрос качества, но и здоровья потребителей.

Таким образом, процесс подготовки клубней к дальнейшей переработке включает в себя несколько этапов, каждый из которых играет важную роль в обеспечении чистоты и безопасности конечного продукта.

По завершению замачивания и очистки клубней топинамбура промывную воду направляют в сток или после некоторой обработки используют для полива соответствующего сырья (рисунк 2).

После завершения вторичной мойки клубней топинамбура, проводится их тщательная инспекция, которая имеет решающее значение для обеспечения качества и безопасности готовой продукции. На этом этапе клубни помещают на специальный инспекционный транспортер 6, который позволяет работникам внимательно осмотреть каждый экземпляр и оценить его подготовку к последующей технологической операции. Во время такой инспекции особое внимание уделяется отбору клубней не соответствующих стандартам. Клубни, пораженные гнилью, болезнями или вредителями, отбраковываются в отдельный бункер 7, предназначенный для некондиционного сырья. Это необходимо для предотвращения распространения различных заболеваний и обеспечения сохранности и тургора оставшихся клубней. Кроме того, работники проверяют форму и размер клубней. Экземпляры клубней топинамбура, не соответствующие требованиям стандарта, также отбраковываются и удаляются из производства. Это важно, т. к. конечный продукт должен соответствовать требованиям потребителей и стандартам рынка. Также во время инспекции осуществляется контроль за наличием посторонних примесей, таких как земля, камни или остатки растений, которые могут влиять на качество клубней. Все отобранные некондиционные клубни и примеси аккуратно сортируются и утилизируются в соответствии с установленными нормами. Таким образом, инспекция после вторичной мойки является важным этапом в процессе переработки топинамбура, который гарантирует то, что только лучшие клубни поступят в производство, удовлетворяя требования потребителей и обеспечивая безопасность продуктов питания.

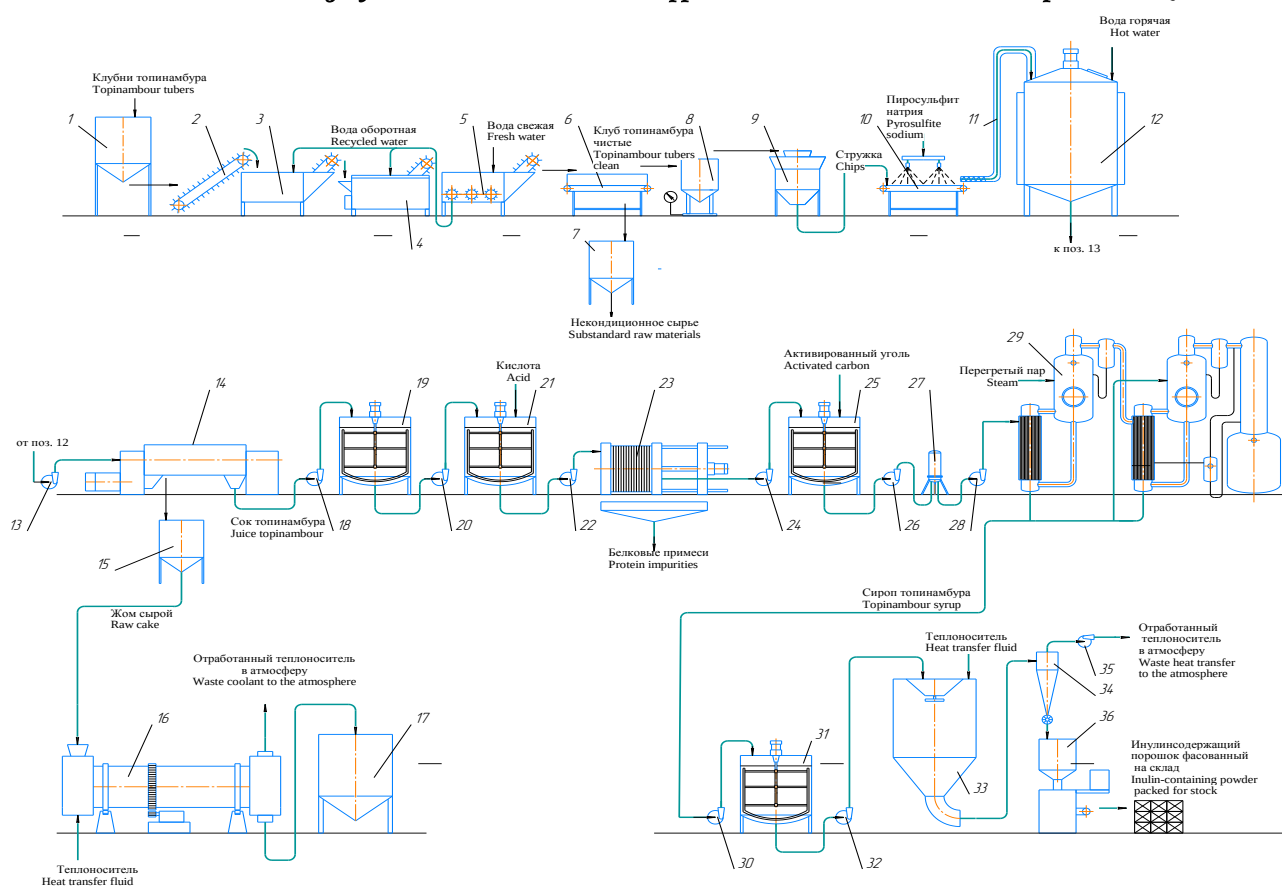


Рисунок 3. Машинно-аппаратурное оформление линии переработки топинамбура на инулинсодержащий порошок: 1 – бункер для клубней топинамбура; 2 – передаточный транспортер; 3 – ванна отмочная; 4 – машина барботажная; 5 – машина щеточная; 6 – инспекционный транспортер; 7 – бункер для некондиционного сырья; 8 – весоизмерительное устройство; 9 – резательная машина; 10 – конвейер для обработки свежей стружки раствором пиросульфита натрия; 11 – гидротранспортер; 12 – экстрактор; 13, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32 – насос; 14 – шнековая центрифуга; 15 – бункер для жома; 16 – барабанная сушилка; 17 – бункер сухого жома; 19 – емкость накопительная для сока с мешалкой; 21 – емкость для коагуляции; 23 – фильтр-пресс; 25 – контактный сборник для адсорбционной очистки сока активным углем; 27 – патронный фильтр; 29 – вакуум-выпарная установка; 31 – емкость накопительная для сиропа с мешалкой; 33 – распылительная сушилка; 34 – циклон; 35 – вентилятор; 36 – фасовочная машина для инулинсодержащего порошка

Figure 3. Machine and hardware design of the Jerusalem artichoke processing line for inulin-containing powder: 1 – hopper for jerusalem artichoke tubers; 2 – transfer conveyor; 3 – soak tub; 4 – bubbling machine; 5 – brush machine; 6 – inspection conveyor; 7 – hopper for substandard raw materials; 8 – weighing device; 9 – cutting machine; 10 – conveyor for processing fresh chips with sodium pyrosulfite solution; 11 – hydraulic conveyor; 12 – extractor; 13, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32 – pump; 14 – screw centrifuge; 15 – hopper for pulp; 16 – drum dryer; 17 – dry pulp hopper; 19 – storage tank for juice with a stirrer; 21 – coagulation tank; 23 – filter press; 25 – contact collector for adsorption purification of juice with activated carbon; 27 – cartridge filter; 29 – vacuum evaporation unit; 31 – storage container for syrup with a stirrer; 33 – spray dryer; 34 – cyclone; 35 – fan; 36 – filling machine for inulin-containing powder

Подготовленные после очистки клубни топинамбура взвешивают и затем измельчают в специальном устройстве 9 в стружку, которая поступает на конвейер 10 для дальнейшей ее обработки. Для предотвращения потемнения стружки, а также лучшей сохранности ее внешнего вида и увеличения сроков хранения, ее обрабатывают раствором пиросульфита натрия. После этого стружка топинамбура направляется на экстракцию из нее инулина. Этот процесс реализуется в экстракторе 12 при температуре 80–85 °С в течение 45–60 мин и гидромодуле 1: 1,5,

для чего в экстрактор дополнительно подается горячая вода. Для снижения потерь инулина в процессе экстракции рекомендуется использовать сухую стружку топинамбура.

Для этого после изрезания клубней топинамбура в стружку ее направляют в барабанную сушилку 16, где высушивают и затем направляют в бункер сухой стружки 17. В случае использования сухой стружку помещают в емкость для замачивания, которую наполняют горячей водой, и далее уже влажную стружку отправляют на экстракцию в экстрактор.

По окончании процесса экстракции экстракт топинамбура, содержащий не менее 12% сухих веществ, насосом 13 перекачивают в шнековую центрифугу 14, где под действием центробежной силы происходит разделение его на твердую и жидкую фракции. Твердую фракцию (осадок), полученную в процессе центрифугирования, резервируют в бункере для жома 15 и далее ее направляют на барабанную сушилку 16 для получения сухого жома. Высушенный до требуемой влажности жом, хранится в бункере сухого жома 17.

Жидкая фракция (экстракт топинамбура без стружки) направляется в накопительную емкость для сока с мешалками 19, откуда насосом 20 она перекачивается в емкость для коагуляции 21. В нее также подают кислоту для коагуляции коллоидов и осветления сока.

После коагуляции экстракт топинамбура с коагулированным белком насосом 22 перекачивают через фильтр-пресс 23, где проводят первую ступень фильтрования для удаления скоагулированного белка.

После отделения белка экстракт поступает в контактный сборник 25 для адсорбционной очистки активным углем. Затем насосом 26 он перекачивается через патронный фильтр 27 для отделения из него мелких взвешенных частиц активированного угля. После фильтрования очищенный от частичек активного угля экстракт

топинамбура, направляется в емкость для хранения и затем подается для сгущения на выпарную станцию 29, где содержание в нем сухих веществ доводится до 12–25%.

После сгущения выпариванием экстракт топинамбура (сироп) подвергается сушке в распылительной сушилке 33 при температуре сушильного агента не выше 160–180 °С, куда его подают насосом 32. Выделение из воздушного потока частиц уже сухого инулина, осуществляется с использованием циклона 34.

После сушки сухой инулинсодержащий порошок направляют в фасовочную машину 36, откуда, уже в упакованном виде, он направляется на склад готовой продукции. Отработанный и очищенный от частиц инулина воздух при помощи вентилятора 35 отводят в атмосферу.

Для проведения анализов на содержание в инулинсодержащем порошке углеводов были отобраны соответствующие пробы его образцов.

Образцы инулинсодержащего порошка, высушенного при различных температурах, по предлагаемой технологии имели однородный состав и окраску от светло-серого до бежевого цвета. Все образцы отобранных порошков содержали в своем составе $84,8 \pm 0,5\%$ инулина, около 12% дисахаридов и примерно около 3% фруктозы.

В таблице ниже представлены данные исследований отобранных образцов инулинсодержащего порошка по их углеводному составу.

Таблица 1.
Сопоставление инулинсодержащих порошков по их углеводному составу

Table 1.

Comparison of inulin-containing powders by their carbohydrate composition

Температура сушки, °С Drying temperature, °C	СВ, % DM, %	Углеводный состав по ВЭЖХ на 100% углеводов Carbohydrate composition by HPLC for 100% carbohydrates				Протеин, % Protein, %	Зола, % Ash, %
		инулин inulin	дисахариды disaccharides	глюкоза glucose	фруктоза fructose		
140	96,6	84,8	12,3	–	2,8	10,5	5,7
160	97,6	85,3	11,8	–	2,7		
180	97,8	84,3	12,6	–	3,0		
200	97,8	85,0	12,0	–	2,9		

Заключение

Углеводный состав отобранных для анализа порошков инулина практически не изменялся при различных условиях распылительной сушки, что свидетельствуют о стабильности метода и его способности сохранять важные свойства исходного сырья.

Сохранение углеводного состава порошков инулина указывает на то, что основные компоненты, такие как фруктаны и глюкоза, остаются в том же соотношении, что и в исходном сиропе. Это крайне важно для сохранения функциональных свойств инулина, используемых в пищевой промышленности и медицине.

Высокий выход инулина свидетельствует об экономической эффективности процесса распылительной сушки. Минимальные потери вещества в ходе сушки обеспечивают рентабельность производства и снижают затраты на сырье.

Полученный порошок характеризуется низким содержанием воды, что улучшает его стабильность при хранении и снижает риск микробиологического заражения. Низкая влажность также упрощает упаковку и транспортировку продукта.

Улучшенная структура поверхности порошка включает в себя более равномерное распределение частиц, меньшую их агломерацию

и лучшие реологические характеристики. Это положительно сказывается на его использовании в различных продуктах, обеспечивая необходимое смешивание и растворимость.

Таким образом, разработана и проверена в промышленных условиях технология и

ее аппаратное оформление для переработки топинамбура на инулинсодержащий порошок с содержанием в нем около 85% инулина. Показано, что предлагаемая технология позволяет упростить технологию, снизить энергозатраты и обеспечить высокое качество получаемого инулина.

Литература

- 1 Бызов В.А. Системный анализ состояния и перспективы развития производства инулина (обзор) // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. Т. 23. № 6. С. 757-776. doi:10.30766/2072-9081.2022.23.6.757-776
- 2 Манохина А.А., Старовойтов В.И., Старовойтова О.А. и др. Конкурентоспособные технологии производства функциональных продуктов из топинамбура. Москва: ФГБНУ «Росинформагротех». 2020. 84 с
- 3 Redondo-Cuenca A., Herrera-Vázquez S. E., Condezo-Hoyos L., Gómez-Ordóñez E. et al. Inulin extraction from common inulin-containing plant sources // *Industrial Crops and Products*. 2021. V. 170. P. 113726.
- 4 Пучкова Т.С., Бызов В.А., Пихало Д.М., Карасева О.М. Технологическая оценка и требования к качественным показателям топинамбура и цикория для переработки на инулин и его производные // *Пищевая промышленность*. 2021. № 10. С. 86-91. doi:10.52653/PPI.2021.10.10.012
- 5 Пучкова Т.С., Бызов В.А., Пихало Д.М., Карасева О.М. Технология инулина и его производных для получения функциональных ингредиентов диетического и лечебно-профилактического назначения // *Все о мясе*. 2020. № 5S. С. 273-280. doi:10.21323/2071-2499-2020-5S-273-280
- 6 Rubel I.A., Iraporda C., Manrique G.D., Genovese D.B. et al. Inulin from jerusalem artichoke (*helianthus tuberosus* l.): from its biosynthesis to its application as bioactive ingredient. *Biology* // *Bioactive carbohydrates and dietary fibre*. 2021. V. 26. P. 100281. doi:10.1016/j.bcdf.2021.100281
- 7 Рахманова А., Таганова Б. Перспективы выращивания топинамбура в различных климатических зонах // *Всемирный ученый*. 2024. Т. 1. №. 32. С. 83-89.
- 8 Mu Y., Gao W., Lv S., Li F. et al. The antioxidant capacity and antioxidant system of jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers in relation to inulin during storage at different low temperatures // *Industrial Crops and Products*. 2021. V. 161. P. 113411. doi:10.1016/j.indcrop.2021.113411
- 9 Захарова И.И. Топинамбур – ценная культура для функционального питания // *Агропродовольственная экономика*. 2022. № 1. С. 7-13. doi:10.54092/24122521_2022_1_7
- 10 Лукина Ф. А., Кривошапкин К. К. Перспективы выращивания топинамбура как кормовой культуры в Якутии // *Вестник АГАТУ*. 2021. №. 4 (4). С. 21.
- 11 Ражина Е.В., Смирнова Е.С., Горелик О.В., Степанов А.В. и др. Анализ функционально-технологического потенциала использования топинамбура при производстве продуктов питания. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2023. Т. 85(1). С. 143-148. doi:10.20914/2310-1202-2023-1-143-148
- 12 Eryomenko D.O., Osmanova Yu.V. The influence of technological parameters of drying on the content of inulin in chicory and jerusalem artichoke powder // *Modern science and innovation*. 2021. V. 1(33). P. 71-77. doi: 10.37493/2307-910X.2021.1.10
- 13 Петров С.М., Подгорнова Н.М., Григорьев Д.А. Инулин как перспективный натуральный пребиотик многоцелевого использования // *Пищевая промышленность*. 2022. № 7. С. 66-74. doi: 10.52653/PPI.2022.7.7.012
- 14 Сербяева Э.Р., Якупова А.Б., Магасумова Ю.Р., Фархутдинова В.А. и др. Инулин: природные источники, особенности метаболизма в растениях и практическое применение // *Биомика*. 2020. Т. 12. № 1. С. 57-79. doi: 10.31301/2221-6197.bmcs.2020-5
- 15 Кутейникова Е.С., Дьякова Н.А., Банова М.В. Инулин: источники и методы получения (обзор) // *Биофармацевтический журнал*. 2024. Т. 16. № 1. С. 3-11. doi:10.30906/2073-8099-2024-16-1-3-11
- 16 Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Бызов В.А. и др. Интродукция топинамбура в Липецкой области // *Научные труды по агрономии*. 2024. № 2. С. 24-32. doi:10.35244/2658-7963-2024-9-2-24-32
- 17 Думанишева З.С., Азаматова М. В. Оценка потребительских свойств порошка из клубней топинамбура // *Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова*. 2021. № 3 (33). С. 60-64.
- 18 Быкова С.Т., Калинина Т.Г. Инулин и олигофруктоза - перспективные ингредиенты для обогащения функциональных продуктов детского питания // *Пищевая промышленность*. 2022. № 8. С. 8-11. doi: 10.52653/PPI.2022.8.8.001
- 19 Вологитров А.К., Джабоева А.С., Васюкова А.Т., Хатко З.Н. и др. Разработка технологии комплексной переработки топинамбура // *Новые технологии*. 2023. Т. 19. № 4. С. 56-62. doi:10.47370/2072-0920-2023-19-4-56-62
- 20 Barkhatova T. V. Nazarenko M. N., Kozhukhova M. A., Khripko I. Obtaining and identification of inulin from jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) tubers // *Foods and Raw Materials*. 2015. V. 3. №. 2. P. 13-22.

References

- 1 Byzov V.A. Systems analysis of the state and prospects for the development of inulin production (review) // *Agrarian science of the Euro-North-East*. 2022. no. 6. pp. 757-776. doi:10.30766/2072-9081.2022.23.6.757-776 (in Russian).
- 2 Manokhina A.A., Starovoytov V.I., Starovoytova O.A. et al. Competitive technologies for the production of functional products from Jerusalem artichoke: an analytical review. Moscow: FGBNU "Rosinformagrotech". 2020. 84 p. (in Russian).
- 3 Redondo-Cuenca A., Herrera-Vázquez S. E., Condezo-Hoyos L., Gómez-Ordóñez E. et al. Inulin extraction from common inulin-containing plant sources // *Industrial Crops and Products*. 2021. Vol. 170. pp. 113726.

- 4 Puchkova T.S., Byzov V.A., Pikhalo D.M., Karaseva O.M. Technological assessment and requirements for quality indicators of Jerusalem artichoke and chicory for processing into inulin and its derivatives // Food Industry. 2021. no. 10. pp. 86-91. doi: 10.52653/PPI.2021.10.10.012 (in Russian).
- 5 Puchkova T.S., Byzov V.A., Pikhalo D.M., Karaseva O.M. Technology of inulin and its derivatives for obtaining functional ingredients for dietary and medical-preventive purpose // Vse o myase. 2020. no. 5S. pp. 273-280. doi: 10.21323/2071-2499-2020-5S-273-280 (in Russian).
- 6 Rubel I.A., Iraporda C., Manrique G.D., Genovese D.B. et al. Inulin from jerusalem artichoke (*helianthus tuberosus* L.): from its biosynthesis to its application as bioactive ingredient. Biology // Bioactive carbohydrates and dietary fibre. 2021. Vol. 26. pp. 100281. doi:10.1016/j.bcdf.2021.100281
- 7 Rakhmanova A., Taganova B. Prospects of jerusalem artichoke cultivation in various climatic zones // World Scientist. 2024. Vol. 1. no. 32. pp. 83-89. (in Russian).
- 8 Mu Y., Gao W., Lv S., Li F., Lu Y. et al. The antioxidant capacity and antioxidant system of jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers in relation to inulin during storage at different low temperatures // Industrial Crops and Products. 2021. Vol. 161. pp. 113411. doi: 10.1016/j.indcrop.2021.113411
- 9 Zakharova I.I. Jerusalem artichoke is a valuable crop for functional nutrition // Agro production and economics journal. 2022. no. 1. pp. 7-13. doi: 10.54092/24122521_2022_1_7 (in Russian).
- 10 Lukina F. A., Krivoschapkin K. K. Prospects of jerusalem artichoke cultivation as a fodder crop in Yakutia // Vestnik of ASAU. 2021. no. 4 (4). p. 21. (in Russian).
- 11 Razhina E.V., Smirnova E.S., Gorelik O.V., Stepanov A.V. et al. Analysis of the functional and technological potential of the use of Jerusalem artichoke in food production: an overview of the subject field. Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2023. Vol. 85(1). pp. 143-148. doi: 10.20914/2310-1202-2023-1-143-148 (in Russian).
- 12 Eryomenko D.O., Osmanova Yu.V. The influence of technological parameters of drying on the content of inulin in chicory and jerusalem artichoke powder // Modern science and innovation. 2021. Vol. 1(33). pp. 71-77. doi: 10.37493/2307-910X.2021.1.10
- 13 Petrov S.M., Podgornova N.M., Grigor'ev D.A. Inulin as a promising natural prebiotic multipurpose use // Food Industry. 2022. no. 7. pp. 66-74. doi: 10.52653/PPI.2022.7.7.012 (in Russian).
- 14 Serbaeva E.R., Yakupova A.B., Magasumova Yu.R., Farkhutdinova V.A. et al. Inulin: natural sources, features of metabolism in plants and practical application // Biomcs. 2020. Vol. 12. no. 1. pp. 57-79. doi: 10.31301/2221-6197.bmcs.2020-5 (in Russian).
- 15 Kuteinikova E.S., Dyakova N.A., Banova M.V. Inulin: sources and methods of production (review) // Biopharmaceutical journal. 2024. Vol. 16. no. 1. pp. 3-11. doi: 10.30906/2073-8099-2024-16-1-3-11 (in Russian).
- 16 Starovoytov V.I., Starovoytova O.A., Byzov V.A. et al. Introduction of Jerusalem artichoke in the Lipetsk region // Scientific works on agronomy. 2024. no. 2. pp. 24-32. doi: 10.35244/2658-7963-2024-9-2-24-32 (in Russian).
- 17 Dumanisheva Z.S., Azamatova M.V. Evaluation of consumer properties of Jerusalem artichoke tuber powder // Bulletin of the Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V. M. Kokov. 2021. no. 3 (33). pp. 60-64. (in Russian).
- 18 Bykova S.T., Kalinina T.G. Inulin and oligofructose are promising ingredients for enriching functional baby food products // Food Industry. 2022. no. 8. pp. 8-11. doi: 10.52653/PPI.2022.8.8.001 (in Russian).
- 19 Vologirov A.K., Dzhaboeva A.S., Vasyukova A.T., Khatko Z.N. et al. Development of technology for complex processing of Jerusalem artichoke // New technologies. 2023. Vol. 19. no. 4. pp. 56-62. doi: 10.47370/2072-0920-2023-19-4-56-62 (in Russian).
- 20 Barkhatova T. V. Nazarenko M. N., Kozhukhova M. A., Khripko I.A. Obtaining and identification of inulin from jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) tubers // Foods and Raw Materials. 2015. Vol. 3. no. 2. pp. 13-22.

Сведения об авторах

Дмитрий А. Казарцев д.т.н., доцент, заведующий кафедрой технологии виноделия, броидильных производств и химии им. Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, kda_79@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6597-2327>

Анатолий А. Славянский д.т.н., профессор, заведующий кафедрой инновационных технологий продуктов из растительного сырья, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, a.slavyanskiy@mgut.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0262-8841>

Андрей И. Ключников д.т.н., доцент, кафедра технологии виноделия, броидильных производств и химии им. Г.Г. Агабальянца, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, kaivanov@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8161-0040>

Information about authors

Dmitriy A. Kazartsev Doc. Sci. (Engin.), associate professor, head of the department of winemaking technology, fermentation production and chemistry named after G.G. Agabalyantsa, K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (FCU), Zemlyanoy Val st., 73, Moscow, 109004, Russia, kda_79@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6597-2327>

Anatoliy A. Slavyanskiy Doc. Sci. (Engin.), professor, head of the department of winemaking technology, fermentation production and chemistry named after G.G. Agabalyants, K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (FCU), Zemlyanoy Val st., 73, Moscow, 109004, Russia, a.slavyanskiy@mgut.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0262-8841>

Andrey I. Klyuchnikov Doc. Sci. (Engin.), associate professor, winemaking technology, fermentation production and chemistry named after g.g. agabalyantsa department, K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (FCU), Zemlyanoy Val st., 73, Moscow, 109004, Russia, kaivanov@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8161-0040>

Наталья Н. Лебедева к.т.н., доцент, кафедра инновационных технологий продуктов из растительного сырья, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, n.lebedeva@mguttm.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4936-7498>

Николай Д. Лукин д.т.н., профессор, заместитель директора по научной работе, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья – филиал «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха», ул. Некрасова, 11, дп. Красково, г.о. Люберцы, Московская обл., 140051, Россия, vniik@arrisp.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2142-1897>

Татьяна С. Пучкова к.т.н., ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья – филиал «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А.Г. Лорха», ул. Некрасова, 11, дп. Красково, г.о. Люберцы, Московская обл., 140051, Россия, puchkovats@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7657-6730>

Natalya N. Lebedeva Cand. Sci. (Engin.), associate professor, innovative technologies of plant-based products department, K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (FCU), Zemlyanoy Val st., 73, Moscow, 109004, Russia, n.lebedeva@mguttm.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4936-7498>

Nikolay D. Lukin Doc. Sci. (Engin.), professor, deputy director for research, All-Russian Research Institute of Starch and Processing of Starch-Containing Raw Materials – branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «A.G. Lorkh Federal Research Center of Potatoes», Nekrasov St., 11, Korenevo microdistrict, Lyubertsy urban district, Moscow region, Russia, vniik@arrisp.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-2142-1897>

Tatyana S. Puchkova Cand. Sci. (Engin.), leading researcher, All-Russian Research Institute of Starch and Processing of Starch-Containing Raw Materials – branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «A.G. Lorkh Federal Research Center of Potatoes», Nekrasov St., 11, Korenevo microdistrict, Lyubertsy urban district, Moscow region, Russia, puchkovats@yandex.ru

 <https://orcid.org/0000-0002-7657-6730>

Вклад авторов

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

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

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 25/10/2024	После редакции 14/11/2024	Принята в печать 29/11/2024
Received 25/10/2024	Accepted in revised 14/11/2024	Accepted 29/11/2024