

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.757-776>

УДК 615.244:636.2.034

Системный анализ состояния и перспективы развития производства инулина (обзор)

© 2022. В. А. Бызов ✉

Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», Московская обл., Российская Федерация

В данной обзорной статье на основе системного анализа приведены результаты исследований по применению инулина в качестве биоактивного пребиотика в функциональных продуктах питания, косметических и фармацевтических препаратах, как носителя противоопухолевых средств. Отмечена устойчивая тенденция мирового роста производства инулина 8-10 % в год. Цель обзора – раскрыть и проанализировать эффект системного комплекса производства инулина в последовательной цепи от синтеза инулина, его накопления в растениях и извлечения. Топинамбур – наиболее перспективный вид сырья, имеющий высокую урожайность клубней до 40 т/га и содержание инулина до 20 %. В биосинтезе инулина активно участвует сахароза и синтезирующие ферменты: 1-SST и 1-FFT, гены которых могут редактироваться с целью изменения содержания инулина. При селекции топинамбура перспективным направлением является межвидовая гибридизация на примере топинамбур-солнечника с урожайностью клубней 40 т/га. В семеноводстве топинамбура исследованы новые способы клонального микро-размножения клубней и их выращивания на азотсодержащей среде с достижением содержания инулина не менее 20 %. При выращивании топинамбура вид сорта является определяющим для максимальной урожайности клубней при ширине междурядий 90 см и интервале между клубнями в рядке 30 см. Наименьшие потери веса клубней и содержания в них инулина при длительном хранении достигаются при температуре от -5 до 0 °С. Технология переработки клубней топинамбура на инулин предложена как система частично оптимизированных технологических операций: от очистки и мойки клубней до получения порошкообразного инулина и олигофруктозного сиропа. Предложен системный комплекс в виде структурной топологической модели, объединяющей 4 системы: «Селекция и семеноводство», «Агротехнология», «Уборка и хранение клубней», «Технология переработки клубней» с взаимосвязями в форме технологических требований и выходных параметров каждой системы и в целом всего комплекса, что является основанием для разработки аграрно-пищевой технологии инулина из топинамбура и других видов сырья.

Ключевые слова: топинамбур, рынок инулина, биосинтез инулина, семеноводство, агротехнология, технология инулина, олигофруктозный сироп

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха» (тема № (FGGM-2022-0007).

Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Бызов В. А. Системный анализ состояния и перспективы развития производства инулина (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(6):757-776. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.757-776>

Поступила: 22.08.2022

Принята к публикации: 21.11.2022

Опубликована онлайн: 16.12.2022

System analysis of the state and prospects of the development of inulin production (review)

© 2022. Vasily A. Byzov ✉

All-Russian Research Institute of Starch and Starch-Containing Raw Materials Processing – Branch of Russian Potato Research Centre, Moscow region, Russian Federation

The review informs on the results of the research of the application of inulin as a bioactive prebiotic in functional nutritional products, in cosmetic formulations and pharmaceuticals as the excipient of anticancer agents on the basis of the system analysis. The steady trend of the world growth of inulin production of 8-10 % a year has been noted. The aim of the research is to reveal and to analyze the effect of the system complex of inulin production in sequential chain from the inulin synthesis, its accumulation in plants and extraction. The Jerusalem artichoke is the most advanced kind of raw material which has the high crop yield of tubers up to 40 t/ha and inulin content up to 20 %. The sucrose and the synthesizing enzymes 1-SST and 1-FFT take an active part in the inulin biosynthesis as their genes can be edited with the purpose of changing the inulin content. At the Jerusalem artichoke breeding the most prospective trend is the cross-species hybridization drawing on the example of a topinambur.

er with the crop yield of tubers of 40 t/ha. In the Jerusalem artichoke seed breeding the new methods of clonal micropropagation of tubers and its cultivation in the airhydroponic environment with the achievement of the inulin content no less than 20 % have been studied. At Jerusalem artichoke cultivation the breed is significant for the maximum crop yield of tubers with the row width of 90 cm and with the interval between tubers in a row – 30 cm. The least loss of the tubers weight and the inulin content in them under the long-term storage is achieved at the temperatures from -5 to 0 °C. The technology of the Jerusalem artichoke tubers processing into inulin is suggested as the system of partly optimized technological operations from peeling and washing the tubers to receiving the powdered inulin and the oligofructose syrup. The system complex is suggested in the form of the structural topological model combining 4 systems: «Selection and seed breeding», «Agritechnologies», «Harvesting and storage of tubers», «The tubers processing technologies» with the interrelations in the form of the technological requirements and the output data of every system and of the complex as a whole, which is the basis for the development of the agri-food technology of inulin from Jerusalem artichoke and other kinds of raw materials.

Keywords: Jerusalem artichoke, inulin market, inulin biosynthesis, seed breeding, agritechnology, inulin technology, oligofructose syrup

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Russian Potato Research Centre (theme No. FGGM-2022-0007).

The author thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the author declared no conflict of interest.

For citation: Byzov V. A. System analysis of the state and prospects for the development of the production of inulin (review). Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East. 2022; 23(6):757-776. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.757-776>

Received: 22.08.2022

Accepted for publication: 21.11.2022

Published online: 16.12.2022

Системный подход к проведению исследований. Системный анализ – это сложный теоретический и практический вопрос, который требует оптимального решения и соединения элементов в системный комплекс с формулировкой проблемной ситуации, определения целей и критериев их достижения, построения структурных топологических моделей, отражающих взаимные связи между объектами, не зависящие от их геометрических свойств. Главной целью любого системного анализа, а также отправной точкой любого проектирования должно быть определение системообразующего фактора, т. е. зачем, для чего существует или проектируется система. Из всех имеющихся методов системного анализа наиболее универсальным является системно-объектный детерминантный (СОДА), объединяющий систему-классов (родовидовая классификация) и систему-явлений (мерономия), что соответствует требованиям объектно-ориентированного анализа и проектирования (ООАД) и позволяет вскрыть полную архитектуру системы, т. е. структуру классов и структуру объектов [1, 2].

Для системного анализа агропромышленного производства используют стратифицированные модели для решения локальных задач возделывания сырья, послеуборочной доработки, хранения и переработки на конечные продукты. Весьма актуальным является применение системного анализа для определения и прогнозирования научных направлений технологического развития АПК России, имеющим большое число разнородных систем –

автономных технологий производства, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции [2, 3].

В данной работе рассматривается проблема отсутствия производства инулина в стране и его импорт в объеме 2 тыс. тонн в год.

Методологией решения проблемной ситуации является системный анализ мирового производства инулина, его применения, проведение исследований источников инулинсодержащего сырья, его селекции и производства, хранения и переработки с разработкой модели системного комплекса производства инулина.

Цель обзора – раскрыть и проанализировать эффект системного комплекса, возникающего под действием различных системообразующих факторов при объединении в единое целое производящих и перерабатывающих технологий АПК России на примере производства инулина.

Материал и методы. Изучены материалы научных исследований в области селекции и семеноводства, производства и переработки инулинсодержащего сырья для получения инулина и олигофруктозы. Поиск источников данных осуществляли в научных электронных библиотеках и поисковых системах: eLIBRARY.RU, Science Direct, БД Scopus, медицинской базе данных PubMed, портале ResearchGate. Поиск запросы выполняли по следующим ключевым словам на русском и английском языках: системный анализ, инулин, инулинсодержащее сырьё, семеноводство, рынок инулина, агротехнология, технология инулина, топинамбур, олигофруктозный сироп.

Основная часть.

1. Свойства инулина и его производных.

Инулин – это природный полисахарид, который содержится во многих растительных семействах мира, является естественным пребиотиком со способностью избирательно стимулировать в желудочно-кишечном тракте рост и метаболическую активность определенных видов бактерий (бифидобактерий и лактобацилл), снижать число патогенных бактерий, а также повышать иммунитет, улучшать усвоение кальция, магния, снижать уровень холестерина. Эти же функции выполняет и олигофруктоза (фруктоолигосахарид), являющаяся продуктом частичного ферментативного гидролиза инулина со степенью полимеризации 2-10. Калорийность инулина всего 1,0-1,5 ккал/г, благодаря чему он используется в качестве заменителя высококалорийных составляющих различных продуктов питания [4, 5, 6].

Инулин образует с водой кремообразный гель с жироподобной текстурой, данное свойство позволяет имитировать присутствие жира в обезжиренных продуктах [7, 8, 9].

Основными потребителями инулина являются: молочная промышленность, производство детского питания, зерновых продуктов, каш быстрого приготовления, иммуностимулирующих соков [10, 11, 12].

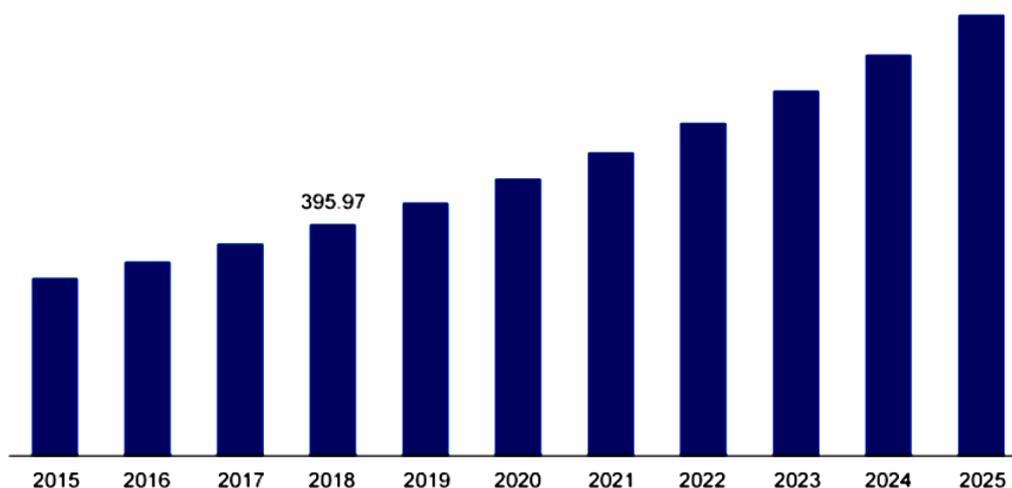
Экстрагированный из клубней топинамбура инулин проявляет эффективную противо-

опухолевую активность и применяется в качестве средств доставки лекарств, иммуностимуляторов и адьюванта вакцины [13, 14, 15, 16, 17].

Инулин нашел свое применение и в косметической промышленности, его используют как биологически активное вещество (БАВ) в производстве масок для лица, увлажняющих кремов, бальзамов.

2. Тенденции мирового производства инулина. Инулин обладает высокими пребиотическими свойствами, его производство превышает 400 тыс. т в год (рис. 1) и ежегодно увеличивается на 10 %, а по прогнозу на 2021-2025 гг. рост составит 8,23 % [18].

В период 2019-2020 гг. мировой экспорт инулина вырос на 20,2 % с 232 до 279 млн долл.¹ Анализ мирового производства функциональных продуктов питания с инулином и олигофруктозой показывает, что за последние годы было организовано производство более 2000 разнообразных продуктов с данными ингредиентами. В России, как и во всем мире, постоянно растет интерес к расширению сырьевой базы для производства продуктов питания с применением инулина. Несмотря на достаточно высокую потребность в инулине и его производных, производство их в нашей стране отсутствует. Объем поставок инулина и олигофруктозы в Россию по импорту составляет около 2000 тонн в год на сумму более 20 млн долл. [19].



Adroit Market Research © 2019

Рис. 1. Мировой рынок инулина, 2015-2025 гг. (в килотоннах) Источник: Market Adroit Research / Fig. 1. Global inulin market, 2015-2025 (in kilotons), Source: Market Adroit Research

¹The Observatory of Economic Complexity. [Электронный ресурс]. URL: <https://clck.ru/LxbpW> (дата обращения: 02.07.2022).

На российском рынке в качестве биологически активных добавок (БАД) чаще всего применяются высушенный и измельченный топинамбур и цикорий или концентрированные экстракты из них для добавки в различные пищевые продукты (хлебобродушки, напитки и др.), но ограниченного применения в диетических и диабетических продуктах, поэтому научно обоснованная организация производства инулина в стране является актуальной задачей [20, 21, 22].

Сложившаяся в настоящее время экологическая ситуация, связанная с загрязнением окружающей среды, приводит к увеличению

заболеваемости населения. В связи с этим весьма необходимы исследования, которые позволят расширить производство неприхотливых культур, не накапливающих примеси тяжелых металлов и не требующих особых агротехнических приемов, являющихся при этом источником ценных веществ для использования в пищевых и кормовых целях [23].

3. *Системный анализ последовательной цепи от синтеза инулина до его извлечения в виде готового продукта.* Системный анализ производства инулина предложено провести по трём основным системным блокам, представленным на рисунке 2.



Рис. 2. Блок-схема системного анализа получения инулина /
Fig. 2. Block diagram of the system analysis of inulin production

3.1. *Синтез инулина.* Инулин (C₆H₁₀O₅)_n представляет собой полидисперсный по степени полимеризации фруктан (фруктозан), в котором остатки D-фруктозы связаны цепью, причем каждая цепь с нередуцированного конца заканчивается молекулой глюкозы. В биосинтезе инулина исходным соединением является сахароза, её концентрация в клетках клубней и активное участие синтезирующих ферментов: 1-фруктозилтрансфераза (1-SST) и фруктан:фруктан-1-фруктозилтрансфераза (1-FFT), гены которых используются в качестве мишени в геномной инженерии и геномном редактировании с целью изменения содержания инулина. Большая концентрация сахарозы является условием для более быстрого накопления инулина [24, 25, 26].

Синтезируется несколько типов инулина, которые различаются по степени полимеризации и молекулярной массе в зависимости от вида растений, времени сбора и условий обработки [27, 28].

У инулинсодержащих растений к концу вегетационного периода наблюдается интенсивная полимеризация и повышается содержание высокомолекулярных фруктанов, что имеет практическое значение для установления оптимальных сроков уборки растительного сырья, наиболее богатого этими ценными биологически активными соединениями [29, 30].

3.2. *Сырьевые источники инулина.* Инулин является самым распространённым после крахмала запасным природным полисахаридом и служит резервным источником энергии у многих растений семейства астровых (*Asteraceae*) и колокольчиковых (*Campanulaceae*): цикорий, топинамбур, лопух, агавы, девясил и других. Инулин содержится в таких растениях, как лук, чеснок, якон, одуванчик, больше всего его в цикории, топинамбуре и девясилах. В настоящее время основным инулинсодержащим сырьем для промышленной переработки являются клубни топинамбура и корнеплоды

цикория. Содержание инулина в цикории и топинамбуре незначительно различается и составляет в среднем 14-18 %. Однако промышленное значение имеют лишь те источники, которые позволяют получать инулин с низкой себестоимостью и по простой технологии [31, 32].

В мировом земледелии площадь посевов топинамбура составляет 2,5 млн га, из них в США – 700 тыс. га, во Франции – 500 тыс. га, в Австрии – 130 тыс. га, средняя урожайность – 50-60 тонн клубней с 1 га [33]. Увеличиваются площади выращивания топинамбура в Англии, Германии, Венгрии, Польше, Японии и Китае. В России топинамбур выращивают почти повсеместно, но на небольших площадях. Несмотря на то, что топинамбур является южным растением, он обладает высокой холодостойкостью и морозостойкостью. Клубни не теряют жизнеспособности, находясь под слоем снега при температурах -40°C .

Все больший удельный вес по объемам производства в мире занимает инулин, выделенный из клубней топинамбура (производитель – Китай). Это связано с тем, что топинамбур достаточно легко культивируется, растение не страдает различными заболеваниями, в отличие от цикория. Поэтому при возделывании топинамбура не используются пестициды и высокие дозы удобрений, что в результате позволяет получать экологически чистое сырье.

Исследования химического состава клубней, надземной массы топинамбура в последние два десятилетия стали объектом изучения в разных странах Европы, а также Китае, России, США и других. Интерес к данной культуре вызван ее высокой продуктивностью и возможностью многоцелевого использования. В некоторых странах разработаны технологии инулина и его производных из топинамбура: фитопрепаратов, биологических активных добавок, продуктов функционального питания, биокорректоров, биоэтанола и другой продукции [33].

В России топинамбур является одним из самых перспективных источников инулина, так как он широко распространен и культивируется в различных климатических районах страны, обладает высокой устойчивостью как к холоду, так и засухе. Топинамбур по сравнению с цикорием не уступает многим кормовым культурам из-за простоты агротехники, возможности перезимовки и переработки в весенний период, высокой урожайности клубней, а также

зелёной массы, которая используется как полноценный корм для животноводства [34].

3.3. *Селекция и семеноводство топинамбура.* Анализ исследований по межсортовой гибридизации свидетельствует, что у топинамбура, как у растения с перекрестным опылением, образование семян с жизнеспособным зародышем в парных скрещиваниях варьирует от 0 до 98 %.

По наблюдениям, проведенным на Майкопской опытной станции ВИР, лучшими родительскими формами, обеспечивающими наибольший процент завязавшихся семян, являются сорта топинамбура Венгерский, Тамбовский красный и Горно-Алтайский. При гибридизации отмечается явление гетерозиса, которое сохраняется и при вегетативном размножении [35].

В результате проводимой межвидовой гибридизации топинамбура и подсолнечника в нашей стране удалось получить растения, называемые топинсолнечником. На Майкопской опытной станции ВИР выведен гибрид Восторг (ЗМ-1-156) с новыми биологическими свойствами для промышленной переработки. Клубни у этого гибрида крупные, овальные, с гладкой поверхностью. Их урожай достигает 40 т/га и более, зелёной массы – 60 т/га.

Такие гибриды лучше возделывать в севооборотах, они не будут засорять посеы последующих культур. Клубни и зеленая масса некоторых гибридов отличаются более высоким содержанием углеводов, в том числе инулина, пектина, белка и других питательных веществ. Получены также растения с высокой холодоустойчивостью и морозостойкостью, устойчивые к болезням. Рассматривая межсортовую и межвидовую гибридизацию как систему, следует отметить, что выходными параметрами должны быть гибриды с высоким содержанием углеводов и стабильной урожайностью крупных клубней с гладкой поверхностью, устойчивых к болезням, что достигается поиском и выбором сортов для парного скрещивания с образованием семян (до 98 %) и сохранением гетерозиса родительских форм.

В семеноводстве топинамбура применение технологии микроклонального размножения *in vitro* является прогрессивным и имеет большое значение для получения достаточного количества высококачественного посадочного материала. Преимущества клонального микро-размножения топинамбура в сравнении с традиционными методами: получение генетически однородного посадочного материала; оздоров-

ление растений от грибных и бактериальных патогенов, вирусных, микоплазменных инфекций; высокий коэффициент размножения – за шесть месяцев можно получить 10-15 тыс. растений; возможность проведения работ в течение года, так как рост и развитие растений *in vitro* практически не зависят от сезонных изменений; экономия площадей, необходимых для выращивания посадочного материала.

В оригинальном семеноводстве исследованы новые методы клонального микроразмножения топинамбура с усовершенствованным способом получения пробирочных микроклубней, позволившим успешно использовать их для выращивания миниклубней на аэрогидропонном устройстве без предварительного подрачивания. Перед высадкой растения тщательно очищали от остатков агаризованной среды для предотвращения попадания остатков агар-агара в систему питательного раствора с содержанием макро- и микросолей: азота, фосфора, калия, марганца и других [36]. Общее количество миниклубней топинамбура, полученных с 20 растений сорта Скороспелка, высаженных на площади 0,72 м², составило 347 шт. Миниклубни получили размером до 55 мм в длину и до 17 мм в поперечном сечении.

Рассматривая семеноводство топинамбура как систему, следует отметить, что выходными параметрами здесь являются клоны и миниклубни с заданными размерами и формой, высоким содержанием инулина – не менее 20 %, что достигается клональным микроразмножением селекционных гибридов с последующим выращиванием миниклубней на регулируемой аэрогидропонной среде [37].

3.4. *Агротехнология топинамбура.* Агротехнология топинамбура аналогична технологии картофеля и предусматривает предпосадочную обработку поля в зависимости от плотности почвы: вспашку, фрезерование или культивацию. При ширококорядной посадке плотность почвы ниже, что способствует получению более высоких урожаев клубней у разных сортов. Густота посадки клубней топинамбура на 15...30 % ниже, чем картофеля и зависит от размера клубневого гнезда [38]. Выращенные клубни топинамбура должны соответствовать ГОСТ Р 55757-2013².

В зависимости от сорта семенного топинамбура с высоким содержанием инулина агротехнология должна обеспечить основные характеристики клубней: сроки созревания; урожайность; размер и форму клубней; компактность клубневого гнезда; прочность соединения клубней с корневой системой.

В Федеральном исследовательском центре картофеля имени А. Г. Лорха проведены исследования на основе планирования эксперимента с выходным параметром «урожайность клубней топинамбура» и технологическими факторами: ширина междурядий, расстояние между посадочными клубнями в рядке, сорта топинамбура.

В результате опытной посадки и возделывания топинамбура было установлено, что максимальная урожайность клубней достигается при ширине междурядий 90 см и интервале между клубнями в рядке 30 см, который определяется размером клубневых гнезд. При увеличении расстояния между клубнями при посадке урожайность сначала повышается, поскольку пространство для питания растения увеличивается, а затем начинает снижаться из-за того, что пространство питания растения используют недостаточно эффективно. Компактные клубневые гнезда формировались у сортообразцов Вильгортский – 10472 см³, Бланк Брекос – 12479, Виолет де Ренсе – 10800 см³. Самое большое клубневое гнездо отмечено у сортов Шпиндель – 47058 см³, Корневский – 42768 и Калужский – 41366 см³ [39].

Проведённые исследования показали, что углеводный состав топинамбура при созревании претерпевает значительные изменения. При этом меняется соотношение низкомолекулярной и высокомолекулярной фракций инулина. При непрерывном нарастании содержания сухого вещества в клубне происходит накопление инулина с сопутствующими полифруктозанами. В сентябре наблюдается максимальное накопление инулина в клубнях как у особенно скороспелых, так и позднеспелых сортов. Общее содержание сухих веществ в клубнях топинамбура составляет 25,0-26,4 %. Наибольшее содержание инулина отмечено у сортов: Калужский (18,7 %), Бланк Брекос (16,7 %), Новость ВИРа (15,8 %), Корневский (15,0 %), Диетический (14,7 %), Находка (14,1 %). Общая кормовая ценность составила 37,0-103,4 тыс. МДж/га метаболизированной энергии [40].

²ГОСТ Р 55757-2013. Топинамбур (клубни). Материал посадочный. Сортные и посадочные качества. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2020. 15 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200105913>

Рассматривая агротехнологию топинамбура как систему, следует отметить, что выходными параметрами является урожайность созревших клубней топинамбура с заданными размерами, формой и содержанием инулина. Эффективность применённой технологии возделывания клубней топинамбура следует оценивать не только по урожайности массы клубней, но и по массе образования инулина на 1 га.

3.5. *Уборка клубней топинамбура.* Способ и сроки уборки топинамбура существенно влияют на качество переработки и хранения. Механические повреждения клубней при уборке сокращают сроки хранения и снижают качество сырья, а задержка с уборкой приводит к снижению содержания инулина и фруктозы в клубнях в разной степени в зависимости от сорта. Чтобы получать высокий выход углеводов с 1 га и эффективно использовать их при выработке продуктов функционального питания, клубни скороспелых сортов целесообразно убирать в конце октября, позднеспелых – в апреле, мае.

Проблема уменьшения механических повреждений клубней топинамбура при машинной технологии его производства и особенно при уборке клубнеуборочными комбайнами – одна из важнейших во всем цикле производства топинамбура, в том числе и на грядках. Машинная технология производства топинамбура предусматривает в качестве основного способа уборки урожая клубней комбайнами с обрезиненными сепарирующими рабочими органами для снижения травмирования клубней и улучшения сепарации от земли [41].

Рассматривая уборку топинамбура как систему, следует отметить, что выходными параметрами являются клубни картофеля согласно ГОСТ 32790-2014³ с диаметрами не менее 25 мм, с механическими повреждениями не более 1,5 %, с массовой долей земли не более 5 %, что достигается формой и скоростью рабочих органов уборочных машин, состоянием почвы в гребнях.

3.6. *Хранение клубней топинамбура.* Главной проблемой, связанной с использованием культуры топинамбура, является проблема длительного хранения. Одним из простых и дешевых является способ хранения клубней в почве с выкапыванием их по мере необходимости. Выкопанные клубни топинамбура не

отличаются лёжкостью из-за отсутствия в коже клубней пробкового слоя и на открытом воздухе быстро усыхают и легко поражаются гнилью. За 10 дней хранения клубней при комнатной температуре потери в весе составляют в среднем 7,0 %, за 20 дней – 14,2 % [42].

В северных районах клубни топинамбура хранят в буртах, кучах или ямах с укрытием землёй. Клубни должны быть сухими, неповреждёнными, без ботвы и примесей.

Уборку топинамбура производят в сентябре-ноябре в зависимости от сорта. Свойство топинамбура переносить многократное замораживание и оттаивание без потери жизнеспособности и всхожести является большим преимуществом по сравнению с другими видами инулинсодержащего сырья. В период зимнего хранения углеводный комплекс топинамбура претерпевает значительные изменения за счёт воздействия собственной ферментной системы клубней. Происходит изменение качественного состава углеводов, содержащихся в клубнях, выражающееся в увеличении содержания фруктозы и снижении содержания инулина и других полифруктозанов.

Для снижения потерь в клубнях топинамбура и повышения устойчивости к гнили перед хранением их обрабатывают препаратом Милеконс, создающим наноразмерную пленку, или более эффективным Артафитом. Предложено использовать в качестве упаковочных материалов полипропиленовые мешки и поддерживать в хранилище температуру от +2 до +5 °С [42], по данным Му Ювен с соавт. (Y. Mu et al.) [43], оптимальная температура при хранении должна быть от -5 до 0 °С.

Рассматривая хранение топинамбура как систему, следует отметить, что выходными параметрами системы являются: отходы, потери массы клубней и снижение содержания инулина при длительном хранении.

Условия хранения клубней топинамбура для обеспечения их сохранности с минимальными потерями углеводов недостаточно изучены и требуют дальнейших исследований. Учитывая тесные взаимосвязи отдельных систем уборки и хранения клубней топинамбура, целесообразно рассматривать их как одну систему с входными и выходными параметрами, определяющими качество клубней.

³ГОСТ 32790-2014. Топинамбур свежий. Технические условия. М.: Стандартиформ, 2015. 9 с.
URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200112296>

3.7. *Технология переработки клубней топинамбура на инулин.* Анализ зарубежной и отечественной литературы по способам получения инулина из инулинсодержащего сырья, в частности топинамбура, показал наличие значительного количества научных статей и патентов, посвящённых этому вопросу [44]. В отличие от существующих упрощённых технологий переработки клубней топинамбура, таких как получение порошков из высушенных клубней и сиропов из измельченных и отпрессованных клубней [44, 45], технология чистого порошкообразного инулина является сложной системой с многофакторным воздействием на технологические процессы. Входными параметрами системы являются клубни топинамбура с характеристиками, соответствующими выходным параметрам предыдущей системы «уборка и хранение клубней», а именно с диаметрами клубней не менее 25-30 мм, механическими повреждениями не более 1,5 %, массовой долей земли не более 5 % [46].

Дополнительно к входным параметрам следует добавить в качестве фильтров приёмки содержание инулина не менее 14 % и ограничение содержания отходов в виде сорной примеси и повреждённых, подгнивших клубней не более 5 %.

Технологические схемы производства инулина, представленные в различных литературных источниках, можно сгруппировать по следующим основным технологическим операциям: очистка и мойка клубней; измельчение; экстрагирование инулина; коагуляция примесей; механическое фильтрование; очистка активным углем; концентрирование; ионообменная очистка; мембранное разделение с выделением фракции олигофруктозный сироп и его концентрирование; фракцию инулина также концентрируют для распылительной сушки. Стушённый олигофруктозный сироп и сухой порошкообразный инулин направляют на упаковку [47].

Следует более подробно рассмотреть каждую операцию с анализом возможных вариантов по входным и выходным параметрам.

Технологическая операция мойки клубней. После предварительной сухой очистки от примесей клубни подают с загрязнённостью до 10 % на мойку, снабжённую щётками и системой подачи воды под высоким давлением, для достижения остаточной загрязнённости 1,5 % рекомендуется двукратная или трехкратная мойка.

Клубни топинамбура после мойки подают на инспекционный транспортер, где происходит его сортировка. Испорченные, гнилые, раздавленные клубни удаляют во избежание ухудшения качества готового продукта в соответствии с ГОСТ 32790-2014⁴.

Измельчение клубней топинамбура и экстрагирование инулина. Применяются два основных способа для измельчения клубней топинамбура: тонкое измельчение на тёрках и резание стружек по аналогии со свеклосахарным производством. При тонком измельчении из полученной каши прессованием выделяют сок, а мезгу промывают для дополнительного извлечения инулина, выход сока при однократном прессовании достигает 70 %, при настаивании и повторном прессовании – 80 %. Однако такой способ выделения инулина из тонкоизмельчённой каши приводит к увеличению выхода примесей из сырья и образованию красящих веществ.

Измельчение клубней топинамбура в стружку является более прогрессивным для извлечения инулина методом экстрагирования по аналогии с переработкой сахарной свёклы на сахар. Процесс экстрагирования протекает за счёт диффузии из клеток экстрагируемых веществ, имеющих разную концентрацию. От того, насколько качественно осуществлено экстрагирование, зависит выход инулина и, следовательно, его качество. Экстрагирование проводят преимущественно горячей водой температурой около 80 °С при различных гидромодулях (соотношение массы стружки и воды). При переработке свежей стружки (гидромодуль – 1:2), сухой стружки (1:10) используются экстракторы непрерывного действия, среди которых следует отметить установку ВНИИ крахмалопродуктов, включающую шнековый диффузионный аппарат с противоточным движением воды и стружки топинамбура [48].

Предложено несколько способов повышения эффективности экстрагирования инулина из топинамбура:

– обработка клубней перед измельчением СВЧ-полем мощностью 750 Вт/кг, позволяющая предотвратить воздействие собственной ферментной системы топинамбура;

– вибрационное воздействие на инулинсодержащее сырьё при частоте вибрационного воздействия до 23,4 Гц. Выход инулина достигает 96 %, что на 28 % больше, чем в контрольном образце [49];

⁴ГОСТ 32790-2014.

– применение ультразвуковой обработки при частоте излучения 20-22 кГц сокращает продолжительность процесса экстрагирования и значительно увеличивает выход инулина, а также снижается температура процесса на 5-10 °С [50, 51];

– обработка измельчённой массы топинамбура 5%-ным раствором лимонной кислоты с последующей экстракцией в роторно-кавитационном экстракторе при температуре 75-80 °С в течение 10-15 минут. Выход инулина составляет 95 % от теоретически возможного.

– проведение водной экстракции инулина противоточным методом с введением уксусной кислоты до рН 4,5-4,6 при температуре 65-90 °С. Содержание сухих веществ в полученном экстракте составляет 10-17 %.

Очистка экстракта инулина. При экстрагировании инулина в экстракт переходят большое количество растворимых веществ как углеводного, так и неуглеводного характера (растворимые примеси). Вследствие этого происходит образование и выделение в экстракт побочных продуктов, в том числе различных форм биологически активных природных веществ, включая и низкомолекулярные углеводы: сахарозу, фруктозу и глюкозу, а взаимодействие углеводов и белковых соединений при высокой температуре вызывает реакцию Майера, что приводит к повышению цветности и требует дополнительных технологических операций по очистке экстракта.

Для очистки экстракта инулина используются различные технологические приёмы: дефекосатурационная обработка; адсорбционная очистка активным углём и ионообменными смолами; ультрафильтрационное и хроматографическое разделение.

Дефекосатурационный способ извлечения инулина из водного раствора с обработкой карбонатом кальция при 85 °С. Дефекация экстракта инулина известью позволяет провести очистку с коагуляцией белковых и красящих веществ, а последующая обработка углекислым газом – адсорбировать растворимые вещества. При этом осаждаются соединения анионов, дающих нерастворимые соли с ионом кальция. С другой стороны, гидроксид кальция, добавляемый в экстракт при дефекации, помимо нейтрализации свободных кислот, вызывает осаждение солей железа, магния и алюминия. Недостатком данного способа очистки является то, что избыток щёлочи способствует разложению фруктозанов, редуцирующих веществ,

пектинов, аминокислот и белков, поэтому очистку экстракта, содержащего большое количество олиго-, ди- и моносахаров, не следует проводить с дефекосатурацией.

Кислотно-термическая обработка экстракта для коагуляции высокомолекулярных примесей применяется с использованием соляной кислоты при температуре 80-85 °С и доведением рН 4,2-4,7 в течение 3 мин для получения осадка, содержащего протеин и высокомолекулярные примеси.

Очистку экстракта от осадка осуществляют механическим фильтрованием, мембранным разделением, ультрафильтрацией обратным осмосом с оценкой по содержанию сухого вещества, примесей (протеин, зола) и углеводного состава продуктов.

При ультрафильтрационном разделении сока клубней топинамбура с применением мембран рулонного типа ЭР (размер пор 5 и 8 кДа) можно выделить свыше 97 % содержащихся в соке нативных растительных белков и очистить сок топинамбура до 98 % [52].

Исследования по очистке экстракта от красящих веществ проводили порошкообразным активным углем марки ОУ-Б при дозировке 4 % и гранулированным углём «Норит». Установлено, что эти угли имеют более высокую адсорбционную способность по протеину и золе.

Ионообменная очистка экстракта после коагуляции и обработки активным углем является завершающей стадией и проводится в определённой последовательности: катионит – анионит – катионит, позволяющей эффективно очищать экстракты инулина при температуре не более 30 °С для предотвращения гидролиза инулина на катионите. Рекомендовано для получения концентрата инулина высокого качества проводить две стадии очистки экстракта: активным углем и ионообменными смолами [53].

Мембранное разделение экстракта инулина. Несмотря на глубокую очистку экстракта инулина от высокомолекулярных примесей в нём остаются и накапливаются низкомолекулярные вещества в виде дисахаридов и моносахаридов фруктозы и глюкозы, для их выделения используется нанофильтрация из двух ступеней: извлечение инулина путем отделения моно- и дисахаров, содержащихся в сиропе, и концентрирование пермеата (основное вещество инулин) с использованием обратноосмотических мембран, и получения в конечном продукте содержание моносахаров

не более 3 %, содержание сухого вещества экстракта инулина – 18-20 % при зольности 0,2-0,5 %. По исследованиям Т. В. Бархатовой [49], применение мембран с размерами пор 2, 3 и 5 кДа позволяет получить три фракции инулина с разной степенью полимеризации фруктозы (DP): низкомолекулярную (DP = 2...10), средномолекулярную (DP = 11...18) и высокомолекулярную (DP = 19...35).

Хроматографическое разделение сиропов инулина из топинамбура, полученных после ионообменной очистки с применением сульфокатионита в кальциевой форме марки «Финекс», позволяет получить 3 фракции с выходом от общего объема элюата: 1 – высокомолекулярный инулин – 57 %; 2 – смесь углеводов, состоящую из инулина, олигосахаридов и дисахаридов – 23 %; 3 – смесь дисахаридов и фруктозы – 20 %, а при разделении на две фракции получить не менее 90 % инулина в одной фракции и не более 10 % дисахаридов в другой фракции, что важно при разработке технологии инулина [54].

При хроматографическом разделении можно получить олигофруктозу, соответствующую требованиям к углеводному составу: сумма высокомолекулярных олигофруктозидов – не менее 93 %, сумма низкомолекулярных сахаридов (ди- и моносахаридов) – не более 7 % [55].

Олигофруктозные сиропы из инулинсодержащего сырья можно получить также ферментативным гидролизом инулина препаратом эндоинулиназы марки «Новозим 960» в дозировке 0,3...0,4 ед. INU/г СВ сиропа с углеводным составом: массовая доля фруктоолигосахаридов – 73,04 %; олигофруктозидов – 22,79 %; дисахаридов – 1,74 %; фруктозы – 2,43 % [56].

Концентрирование растворов инулина и олигофруктозы. Все технологические операции по извлечению инулина и его очистке проводятся при низком содержании сухих веществ – не более 12 %, поэтому при доведении растворов до уровня СВ не менее 72 % с целью получения инулина в порошкообразном виде требуется его концентрация для последующей кристаллизации или распылительной сушки.

Частичное концентрирование очищенного экстракта инулина с содержанием 10-12 % СВ происходит при мембранном сепарировании до 20 % содержания СВ, а при хроматографическом – до 30 %.

Но основное концентрирование осуществляют на выпарных аппаратах с выносной поверхностью нагрева до содержания СВ

не менее 30 %. Температура в процессе уваривания не должна превышать 60 °С для предотвращения образования красящих веществ [57].

Способы получения инулина в сухом виде. Кристаллизацию раствора инулина с содержанием 56,5 % СВ осуществляют при температуре 8 °С в течение 12-18 ч, затем инулин отделяют от маточного раствора центрифугированием при факторе разделения, равном 6600. Полученный влажный фугат сушат до влажности 5,9 % и содержания инулина по СВ 97,2 % [57].

Проведенными исследованиями распылительной сушки инулинового раствора с исходным содержанием влаги в пределах Wh = 0,75-0,95 кг/кг и конечном содержании влаги в продукте Wk = 0,1 кг/кг был установлен оптимальный режим сушки при температуре T = 423 К [58].

При сравнении способов получения из растворов порошкообразного инулина следует, что распылительный способ сушки включает наименьшее количество операций и не имеет отходов в виде слабо кристаллизирующихся низкомолекулярных полисахаридов.

Интегрирование операционных параметров системы. Рассматривая «Технологию переработки клубней топинамбура на инулин» как систему связанных технологических операций, частично оптимизированных по данным литературных источников, то эту систему можно представить с входными и выходными параметрами каждой операции (рис. 3) от характеристик исходного сырья до получения конечных продуктов: порошкообразного инулина и олигофруктозного сиропа. Отличительными особенностями предлагаемой системной технологии являются: экстрагирование инулина из стружки клубней с противоточной промывкой; возможность совмещения технологических операций механического фильтрования и угольной очистки; применение хроматографического способа выделения низкомолекулярных сахаридов, которые накапливаются в виде олиго- и дисахаридов, моносахаридов фруктозы и глюкозы при очистке экстракта.

4. *Системный комплекс производства инулина из топинамбура*. Систему «Технология переработки клубней топинамбура на инулин», имеющую входные параметры по сырью и выходные параметры по готовой продукции, можно представить в составе системного комплекса в виде структурной топологической модели (рис. 4), объединяющего проведение

анализа источников инулинсодержащего сырья, его селекции и семеноводства (система А), агротехнологии (система В), уборки и хранения (система С), переработки клубней топинамбура

и производства инулина (система D). Системообразующим фактором этого комплекса является инулин: его синтез, накопление, хранение и извлечение.

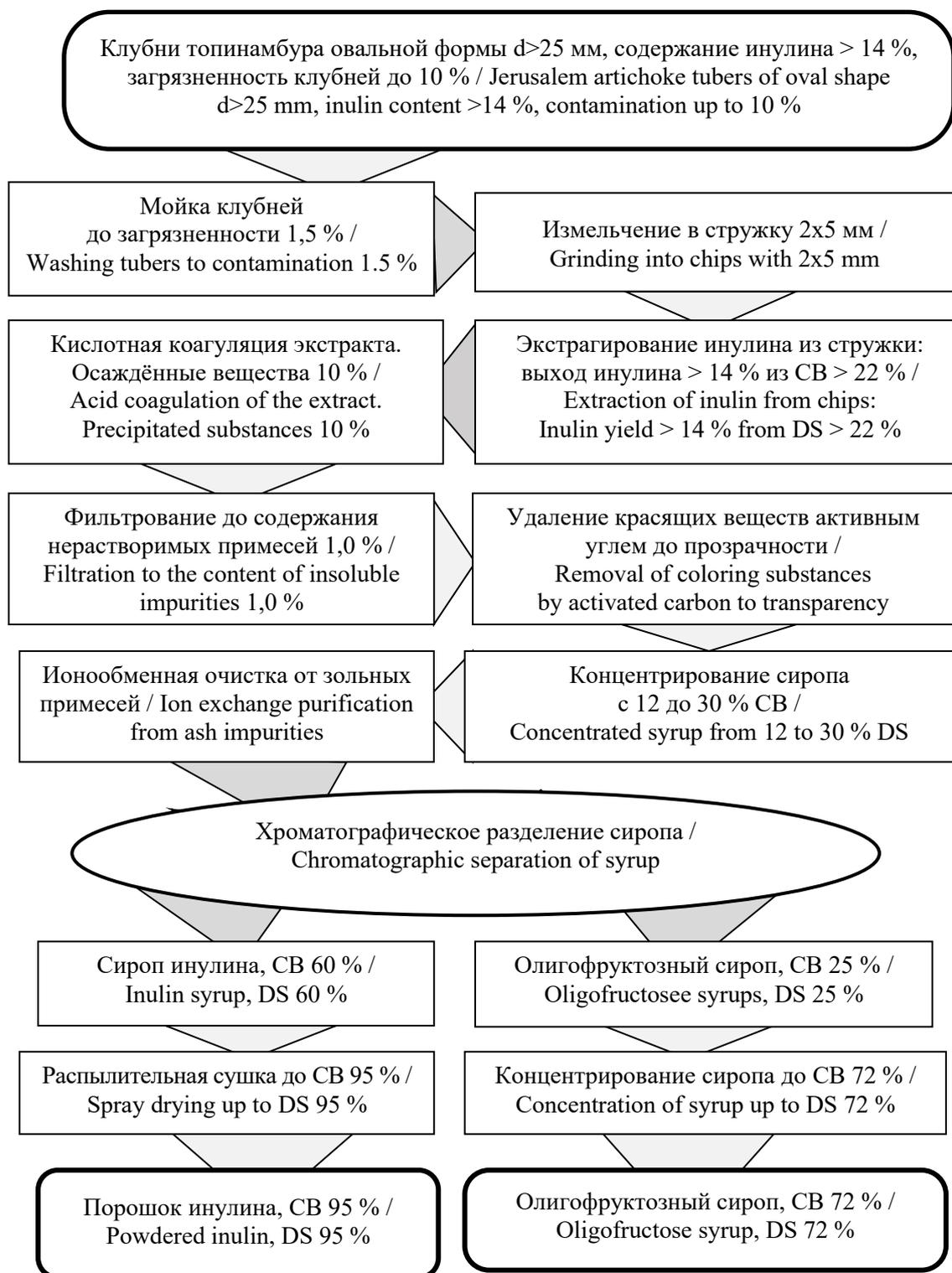


Рис. 3. Операционная блок-схема переработки клубней топинамбура на инулин и олигофруктозный сироп /

Fig. 3. Operating block-diagram of the Jerusalem artichoke tubers processing into inulin and oligofructose syrup

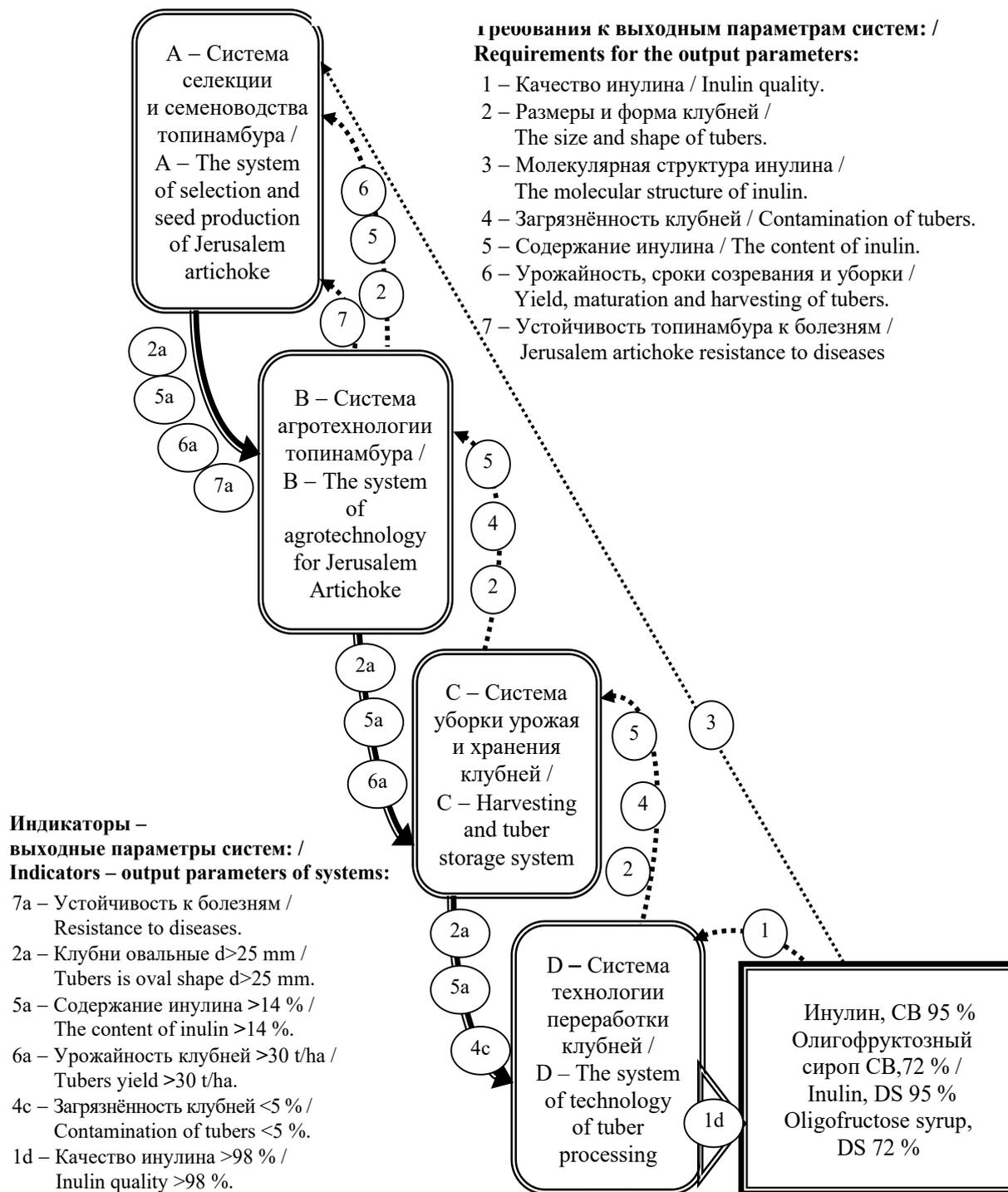


Рис. 4. Структура системного комплекса производства инулина /
Fig. 4. The structure of the inulin production system complex

Система D является определяющей качеством конечной продукции: доброкачественность инулина > 95 % с содержанием СВ < 8 % и олигофруктозного сиропа с СВ 72 %. Для обеспечения качества продукции с учётом оптимизированных технологических процессов и максимальным извлечением инулина > 90 % определены требования к входным параметрам

системы D: размер и форма клубней, их загрязнённость, содержание инулина > 14 %, что должно соответствовать выходным параметрам системы C (уборка и хранение клубней). Входными параметрами системы C являются выходные параметры системы B (агротехнология топинамбура), требования к которым складываются из предыдущих систем D и C.

Система А (селекция и семеноводство) объединяет все требования от предыдущих систем комплекса и дополнительные требования к урожайности клубней, молекулярной структуре инулина, устойчивости топинамбура к болезням.

Установленные в системном комплексе взаимосвязи систем в форме технологических требований и выходных параметров каждой системы и в целом всего комплекса являются основанием для разработки аграрно-пищевой технологии инулина из топинамбура.

Основные положения системного подхода к перспективности развития технологических комплексов в агропромышленном хозяйстве страны, разработанные В. А. Панфиловым [3, 59], предусматривают объединение процессов сельскохозяйственной технологии и процессов пищевой перерабатывающей технологии в единый системный комплекс «Аграрно-пищевая технология» с формулировкой основных принципов создания указанного комплекса:

- адресность производства сельскохозяйственной продукции;

- усиление технологичности свойств сельскохозяйственного сырья и формирование качества выходных продуктов в процессе выращивания сырья;

- повышение технологической дисциплины в сельскохозяйственном производстве, перерабатывающей и пищевой промышленности;

- развитие ресурсосбережения и экологичности процессов по всей технологической цепи комплекса.

Этим принципам отвечает предлагаемый «Системный комплекс производства инулина», однако имеются сложности его разработки и применения, так как в сельском хозяйстве закономерности, описывающие строение, функционирование и развитие технологических процессов, гораздо сложнее, чем закономерности технологических процессов на перерабатывающих и пищевых предприятиях, и носят преимущественно вероятностный характер, что обусловлено особенностями главного средства производства – земли, свойства которой сильно изменяются от погодных условий. При благоприятных климатических условиях для успешного функционирования «Системного комплекса производства инулина» необходима разработка дополнения в форме экономической модели системы селекции и семеноводства, выращивания, хранения и переработки топинамбура

на инулин с жесткими производственными и финансовыми связями и направленной целью – получение инулина с низкой себестоимостью и высокими потребительскими свойствами.

Заключение. Отсутствие промышленного производства пищевого и фармацевтического инулина в стране и его импорт явилось проблемной ситуацией, для решения которой использована методология системного анализа мирового производства инулина, его применения, проведения исследований по селекции и производству источников инулинсодержащего сырья, его хранению и переработке для производства инулина.

Отмечена устойчивая тенденция мирового роста производства инулина 8-10 % в год и многочисленные результаты исследований применения инулина в качестве биоактивного пребиотика в функциональных продуктах питания, косметических и фармацевтических препаратах как носителя противоопухолевых средств.

Топинамбур определен как наиболее перспективный и распространенный вид инулинсодержащего сырья с высокой урожайностью клубней до 40 т/га и содержанием инулина до 20 %, при биосинтезе которого гены синтезирующих ферментов 1-SST и 1-FFT могут редактироваться с целью изменения содержания инулина и степени его полимеризации. При селекции топинамбура перспективным направлением является межвидовая гибридизация на примере топинамбурника с урожайностью клубней 40 т/га.

В семеноводстве топинамбура исследованы новые способы клонального микро-размножения клубней и их выращивания на аэрогидропонной среде с достижением содержания инулина не менее 20 %. Максимальная урожайность клубней топинамбура зависит от сорта и ширины междурядий 90 см с интервалом клубней в рядке 30 см. При хранении клубней топинамбура наименьшие потери веса клубней и содержания в них инулина при длительном хранении достигаются при температуре от -5 до 0 °С.

На основе системного анализа предложена «Технология переработки клубней топинамбура на инулин», включающая частично оптимизированные технологические операции: очистку и мойку клубней; измельчение; экстрагирование инулина; коагуляцию примесей; фильтрование; очистку активным углем; ионообменную очистку; хроматографическое

разделение с выделением фракции олигофруктозного сиропа; концентрирование и сушку инулина.

Предложен системный комплекс в виде структурной топологической модели, объединяющей 4 системы: «Селекция и семеноводство», «Агротехнология», «Уборка и хранение клубней», «Технология переработки клубней топинамбура» с взаимосвязями в форме технологических требований и выходных параметров каждой системы и в целом всего комплекса.

«Системный комплекс производства инулина» должен быть дополнен разработкой экономической модели с устойчивыми производственными и финансовыми связями систем с направленной целью – получение инулина с низкой себестоимостью и высокими потребительскими свойствами, что осуществимо в рамках создаваемых агропромышленных объединений, кластеров и решения проблемы производства инулина в стране и его импортозамещения.

Список литературы

1. Маторин С. И., Михелёв В. В. Системно-объектный детерминантный анализ. Построение таксономии предметной области. Искусственный интеллект и принятие решений. 2021;(1):15-24. DOI: <https://doi.org/10.14357/20718594210102>
2. Михелёв В. В. Системно-объектный подход к системному анализу: особенности и преимущества. Экономика. Информатика. 2022;49(1):145-152. DOI: <https://doi.org/10.52575/2687-0932-2022-49-1-145-152>
3. Панфилов В. А. Аграрно-пищевая технология: эффект системного комплекса. Известия КГТУ. 2014;(35):93-105. Режим доступа: https://klgtu.ru/science/magazine/news_kstu/2014_35/
4. Le Bastard Q., Chapelet G., Javaudin F., Lepelletier D., Batard E., Montassier E. The effects of inulin on gut microbial composition: a systematic review of evidence from human studies. European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases. 2019;39:403-413. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10096-019-03721-w>
5. Shoaib M., Shehzad A., Omar M., Rakha A., Raza H., Sharif H. R., Shakeel A., Ansari A., Niazi S. Inulin: Properties, health benefits and food applications. Carbohydrate Polymers. 2016;147:444-454. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.04.020>
6. Коденцова В. М., Леоненко С. Н., Бекетова Н. А., Кошелева О. В., Вржесинская О. А., Сокольников А. А., Шевякова Л. В., Рисник Д. В. Инулин как компонент обогащенных пищевых продуктов: влияние на микронутриентный статус организма. Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. 2022;25(3):34-42. DOI: <https://doi.org/10.29296/25877313-2022-03-05>
7. Петров С. М., Подгорнова Н. М., Григорьев Д. А. Инулин как перспективный натуральный пребиотик многоцелевого использования. Пищевая промышленность. 2022;(7):66-74.
8. Kulushtayeva B., Nurymkhan G., Burakovskaya N., Shadrin M., Smirnova T., Sagina O., Mirgorodskaya M., Smirnov S. Physical and chemical profile and food safety of gluten free bread. Eurasian journal of biosciences. 2019;13(2):1081-1087. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41875795>
9. Сухарева Т. Н., Польшкова А. В. Творожный продукт на основе творога, топинамбура и яблок. Наука и Образование. 2019;2(2):255. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38578485>
10. Схашок Р. З., Филиппенко Ю. Н., Тарасенко Н. А. Оптимизация содержания инулина в рецептуре мягких вафель на основе пшеничных пищевых волокон. Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2020;(5-6(377-378)):53-56. DOI: <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2020.5-6.12>
11. Неменуцкая Л. А. Технологии производства конкурентоспособных продуктов питания повышенной пищевой ценности из доступного местного сырья. Техника и оборудование для села. 2018;(4):34-36. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32847412>
12. Rubel I. A., Iraporda C., Manrique G. D., Genovese D. B., Abraham A. G. Inulin from jerusalem artichoke (*helianthus tuberosus* l.): from its biosynthesis to its application as bioactive ingredient. Biology. Bioactive carbohydrates and dietary fibre. 2021;26:100281. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2021.100281>
13. Mazraeh R., Azizi-Soleiman F., Jazayeri S. M. H. M., Noori S. M. A. Effect of inulin-type fructans in patients undergoing cancer treatments: A systematic review. Pakistan Journal of Medical Sciences. 2019;35(2):575-580. DOI: <https://doi.org/10.12669/pjms.35.2.701>
14. Haiping D., Zhao A., Qi W., Yang X., Ren D. Supplementation of inulin with various degree of polymerization ameliorates liver injury and gut microbiota dysbiosis in high fat-fed obese mice. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2020;68(3):779-787. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b06571>
15. Song J., Li Q., Everaert N., Liu R., Zheng M., Zhao G., Wen J. Effects of inulin supplementation on intestinal barrier function and immunity in specific pathogen-free chickens with Salmonella infection. Journal of Animal Science. 2020;98(1):skz396. DOI: <https://doi.org/10.1093/jas/skz396>
16. Shao T., Yuan P., Dou D., Liu C., Han J., Chen K., Wang G., Zhang W., Wang F., Hao C. Preparation and characterization of sulfated inulin-type fructans from jerusalem artichoke tubers and their antitumor activity. Carbohydrate Research. 2021;509:108422. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carres.2021.108422>

17. Насридинов А. С., Ашуров А. И., Холов Ш. Ё., Исмоилов И. Б., Усманова С. Р., Мухидинов З. К. Самоагрегирующие свойства инулина в разбавленном растворе. Известия вузов. Прикладная химия и биотехнологии. 2022;12:1(40):38-49. DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-1-38-49>
18. Надежкина М. С., Сагина О. А. Инулин: свойства, применение. Мировой рынок инулина. Modern Science. 2020;(1-2):76-80. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42315930>
19. Будько Д. Рынок инулина: Европа лидирует в мировом производстве, Россия подсчитывает упущенные возможности. Бизнес пищевых ингредиентов. 2019;(2):46-47.
20. Кайшев В. Г., Лукин Н. Д., Серегин С. Н., Корниенко А. В. Рынок инулина в России: возможности развития сырьевой базы и необходимые ресурсы для создания современного отечественного производства. Пищевая промышленность. 2018;(5):8-17.
21. Манохина А. А., Старовойтов В. И., Старовойтова О. А., Мишуров Н. П., Неменушая Л. А., Аллаяров Ж. Ж. Конкурентоспособные технологии производства функциональных продуктов из топинамбура: аналитический обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. 84 с. Режим доступа: <https://rosinformagrotech.ru/data/send/5-rastenievodstvo/1412-konkurentosposobnye-tehnologii-proizvodstva-funktsionalnykh-produktov-iz-topinambura-2020>
22. Титова Л. М., Алексанян И. Ю. Технология инулина: основные тенденции развития отрасли и спорные вопросы. Пищевая промышленность. 2016;(1):46-51.
23. Старовойтов В. И., Старовойтова О. А., Звягинцев П. С., Лазунин Ю. Т. Топинамбур – культура многоцелевого использования. Пищевая промышленность. 2013;(4):22-25.
24. Сербаява Э. Р., Якупова А. Б., Магасумова Ю. Р., Фархутдинова К. А., Ахметова Г. Р., Кулуев Б. Р. Инулин: природные источники, особенности метаболизма в растениях и практическое применение. Биомика. 2020;12(1):57-79. DOI: <https://doi.org/10.31301/2221-6197.bmcs.2020-5>
25. Леонтьев В. Н., Дубарь Д. А., Лугин В. Г., Феськова Е. В., Игнатовец О. С., Титок В. В. Биологический потенциал топинамбура как исходного сырья для пищевой и фармацевтической промышленности. Труды БГТУ. Химия, технология органических веществ и биотехнология. 2014;(4):227-230. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27386373>
26. Barloy J., Fernandez J. Synthesis on Jerusalem artichoke projects, in Topinambour (Jerusalem Artichoke). Report EUR13405, Grassi, G. and Gosse, G., Eds. Commission of the European Communities. Luxembourg, 1991. pp. 3-14.
27. BeMiller J. N. 10 – Inulin and Konjac Glucomannan. In: Carbohydrate Chemistry for Food Scientists. Amsterdam: Elsevier Inc., AACC International. 2019. pp. 253-259. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812069-9.00010-8>
28. Шаззо Р. И., Кайшев В. Г., Гиш Р. А., Екутеч Р. И., Корнена Е. П. Топинамбур: биология, агротехника выращивания, место в экосистеме, технологии переработки (вчера, сегодня, завтра). Под ред. Р. И. Шаззо. Краснодар: Издательский дом – Юг, 2013. 184 с.
29. Васфилова Е. С., Воробьева Т. А. Динамика накопления фруктозо-содержащих углеводов в подземных органах растений различных семейств. Химия растительного сырья. 2022;(1):71-80. DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.20220110140>
30. Леонтьев В. Н., Титок В. В., Дубарь Д. А., Игнатовец О. С., Лугин В. Г., Феськова Е. В. Инулин из топинамбура: биосинтез, структура, свойства, применение. Труды Белорусского государственного университета. Серия: Физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем. 2014;9(1):180-185. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36554236>
31. Найда Н. М. Некоторые особенности роста и развития цикория обыкновенного в условиях культуры в Ленинградской области. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2018;(50):11-17. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32741848>
32. Schittenhelm S. Agronomic performance of root chicory, Jerusalem artichoke, and sugarbeet in stress and nonstress environments. Crop Science. 1999;39(6):1815-1823. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1999.3961815x>
33. Захарова И. И. Топинамбур – ценная культура для функционального питания. Агропродовольственная экономика. 2022;(1):7-13. DOI: https://doi.org/10.54092/24122521_2022_1_7
34. Пасько Н. М. Топинамбур – биотехнологический потенциал для пищевых, лечебных, технических, кормовых и экологических целей. Агропромышленный портал Юга России. [Электронный ресурс]. URL: http://www.agroyug.ru/page/item/_id=2476 (дата обращения: 02.07.2022).
35. Breton C., Киру С. Д., Bervillé A., Анушкевич Н. Ю. Селекция топинамбура (*Helianthus tuberosus* L.) для нетрадиционного использования: ретроспектива, подходы и перспективы. Сельскохозяйственная биология. 2017;52(5):940-951. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.5.940rus>
36. Хутинаев О. С., Старовойтов В. И., Старовойтова О. А., Манохина А. А., Шабанов Н. Э., Колесова О. С. Выращивание миниклубней картофеля и топинамбура в условиях водно-воздушной культуры с использованием искусственного освещения. Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина». 2018;(4(86)):7-14. DOI: <https://doi.org/10.26897/1728-7936-2018-4-7-14>

37. Манохина А. А., Старовойтова О. А., Старовойтов В. И. Оригинальное семеноводство топинамбура. Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. 2018;(1(10)):61-65.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35192538>
38. Старовойтова О. А., Старовойтов В. И., Манохина А. А. Агротехника выращивания топинамбура. Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина». 2017;(1(77)):7-13.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28292515>
39. Старовойтова О. А. Инновационная грядочная технология выращивания топинамбура и картофеля. Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина». 2015;(1(65)):11-14.
40. Manokhina A. A., Dorokhov A. S., Kobozeva T. P., Fomina T. N., Starovoitova O. A. Varietal characteristics of jerusalem artichoke as a high nutritional value crop for herbivorous animal husbandry. Applied Sciences (Switzerland). 2022;12(9):4507. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12094507>
41. Михеев В. В., Ерёмченко В. И., Ерёмин П. А., Зернов В. Н., Петухов С. Н. Машина для уборки клубней топинамбура: пат. № 2637785 Российская Федерация. № 2017111786: заяв. 07.04.2017; опубл. 07.12.2017. Бюл. №34. 6 с.
42. Старовойтова О. А., Старовойтов В. И., Манохина А. А. Особенности хранения топинамбура. Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина». 2018;(3(85)):7-12.
DOI: <https://doi.org/10.26897/1728-7936-2018-3-7-12>
43. Mu Y., Gao W., Lv S., Li F., Lu Y., Zhao C. 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;161:113411. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113411>
44. Лисовой В. В., Першакова Т. В., Купин А. Г., Ачмиз А. Д., Викторова Е. П. Современные способы производства инулина из растительного сырья. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016;118:1363-1376.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25983929>
45. 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;(1(33)):71-77.
DOI: <https://doi.org/10.37493/2307-910X.2021.1.10>
46. 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):273-280. DOI: <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2020-5S-273-280>
47. Гулюк Н. Г., Лукин Н. Д., Пучкова Т. С., Пихало Д. М. Переработка инулинсодержащего сырья на инулин и его производные. Достижения науки и техники АПК. 2017;31(8):76-79.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30053606>
48. Гулюк Н. Г., Михайленко А. А., Ананских В. В., Лукин Н. Д., Пучкова Т. С., Пихало Д. М., Бызов В. А. Диффузионный аппарат непрерывного действия: пат. № 2643243 Российская Федерация. № 2016124463: заяв. 21.06.2016; опубл. 31.01.2018. Бюл. №4. 6 с.
49. Kozhukhova M. A., Nazarenko M. N., Barkhatova T. V., Khripko I. A. Obtaining and identification of inulin from jerusalem artichoke (*helianthus tuberosus*) tubers. Foods and Raw Materials. 2015;3(2):13-22.
DOI: <https://doi.org/10.12737/13115>
50. Karetkin V. A., Panfilov V. I., Baurin D. V., Shakir I. V. Ultrasonic artichoke: Optimization of conditions, purification methods, c-13nmr spectroscopy of the product. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM. 2015;1(6):641-648.
DOI: <https://doi.org/10.5593/SGEM2015/B61/S25.087>
51. Муцаев Р. В., Алексанян И. Ю., Титова Л. М. Способы получения инулина из растительного сырья. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015;(10-3):433-436.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24113191>
52. Мамай Д. С. Ультрафильтрационное разделение сока клубней топинамбура. Инновационное развитие АПК Северного Зауралья: сб. мат-лов региональной науч.-практ. конф. молодых ученых. ГАУ Северного Зауралья. Тюмень, 2013. С. 44-46. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23260327>
53. Пучкова Т. С., Пихало Д. М., Варицев П. Ю. Использование ионообменных смол для очистки инулинсодержащих сиропов из топинамбура. Пищевая промышленность. 2018;(12):38-42.
54. Пучкова Т. С., Бызов В. А., Пихало Д. М., Карасева О. М. Исследование хроматографического разделения углеводов инулина и олигофруктозы. Пищевая промышленность. 2021;(7):14-19.
55. Гулюк Н. Г., Пучкова Т. С., Пихало Д. М. Хроматографическое разделение углеводов инулинсодержащих сиропов. Достижения науки и техники АПК. 2019;33(9):74-78.
DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10916>

56. Лукин Н. Д., Пучкова Т. С., Пихало Д. М., Карасева О. М. Гидролиз инулина ферментным препаратом эндоинулиназы марки «Новозим 960» для производства олигофруктозы. Достижения науки и техники АПК. 2020;34(6):89-91. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10617>
57. Rubel I. A., Iraporda C., Novosad R., Genovese D. B., Manrique G. D. Inulin rich carbohydrates extraction from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers and application of different drying methods. Food Research International. 2018;103:226-233. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.041>
58. Муцаев Р. В., Нугманов А. Х.-Х., Алексанян А. И. Интенсификация процесса сушки инулинового раствора, полученного экстракцией из растительного сырья. Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2018;(1(21)):63-72. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36809867>
59. Баутин В. М., Панфилов В. А. Парадигма развития технологий АПК. Экономика сельского хозяйства России. 2017;(6):18-31. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29425218>

References

- Matorin S. I., Mikhelev V. V. System-object determinant analysis. constructing a taxonomy of the subject area. *Iskusstvennyy intellekt i prinyatie resheniy*. 2021;(1):15-24. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.14357/20718594210102>
- Mikhelev V. V. System-object approach to system analysis: features and benefits. *Ekonomika. Informatika = Economics. Information technologies*. 2022;49(1):145-152. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.52575/2687-0932-2022-49-1-145-152>
- Panfilov V. A. The agrarian-food technology: the effect of the system complex. *Izvestiya KGTU = KSTU News*. 2014;(35):93-105. (In Russ.). URL: https://klgtu.ru/science/magazine/news_kstu/2014_35/
- Le Bastard Q., Chapelet G., Javaudin F., Lepelletier D., Bataud E., Montassier E. The effects of inulin on gut microbial composition: a systematic review of evidence from human studies. *European Journal of Clinical Microbiology & Infectious Diseases*. 2019;39:403-413. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10096-019-03721-w>
- Shoab M., Shehzad A., Omar M., Rakha A., Raza H., Sharif H. R., Shakeel A., Ansari A., Niazi S. Inulin: Properties, health benefits and food applications. *Carbohydrate Polymers*. 2016;147:444-454. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.04.020>
- Kodentsova V. M., Leonenko S. N., Beketova N. A., Kosheleva O. V., Vrzhesinskaya O. A., Sokolnikov A. A., Shevyakova L. V., Risnik D. V. Inulin as a component of fortified foodstuffs: influence on the micronutrient status. *Voprosy biologicheskoy, meditsinskoy i farmatsevticheskoy khimii = Problems of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry*. 2022;25(3):34-42. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.29296/25877313-2022-03-05>
- Petrov S. M., Podgornova N. M., Grigor'ev D. A. Inulin as a promising natural prebiotic multipurpose use. *Pishchevaya promyshlennost' = Food Industry*. 2022;(7):66-74. (In Russ.).
- Kulshatayeva B., Nurymkhan G., Burakovskaya N., Shadrin M., Smirnova T., Sagina O., Mirgorodskaya M., Smirnov S. Physical and chemical profile and food safety of gluten free bread. *Eurasian journal of biosciences*. 2019;13(2):1081-1087. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41875795>
- Sukhareva T. N., Polshkova A. V. Custom product on the basis of creator, topinambur and apples. *Nauka i Obrazovanie*. 2019;2(2):255. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38578485>
- Skhashok R. Z., Filippenko Yu. N., Tarasenko N. A. Optimization of inulin content in the formulation of soft wafers on based wheat fiber. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Pishchevaya tekhnologiya = Izvestiya vuzov. Food Technology*. 2020;(5-6(377-378)):53-56. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2020.5-6.12>
- Nemenushaya L. A. Technology for manufacture of competitive food having an increased nutrition value from available local raw materials. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela = Machinery and Equipment for Rural Area*. 2018;(4):34-36. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32847412>
- Rubel I. A., Iraporda C., Manrique G. D., Genovese D. B., Abraham A. G. Inulin from jerusalem artichoke (*helianthus tuberosus* l.): from its biosynthesis to its application as bioactive ingredient. *Biology. Bioactive carbohydrates and dietary fibre*. 2021;26:100281. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2021.100281>
- Mazraeh R., Azizi-Soleiman F., Jazayeri S. M. H. M., Noori S. M. A. Effect of inulin-type fructans in patients undergoing cancer treatments: A systematic review. *Pakistan Journal of Medical Sciences*. 2019;35(2):575-580. DOI: <https://doi.org/10.12669/pjms.35.2.701>
- Haiping D., Zhao A., Qi W., Yang X., Ren D. Supplementation of inulin with various degree of polymerization ameliorates liver injury and gut microbiota dysbiosis in high fat-fed obese mice. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2020;68(3):779-787. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b06571>
- Song J., Li Q., Everaert N., Liu R., Zheng M., Zhao G., Wen J. Effects of inulin supplementation on intestinal barrier function and immunity in specific pathogen-free chickens with Salmonella infection. *Journal of Animal Science*. 2020;98(1):skz396. DOI: <https://doi.org/10.1093/jas/skz396>

16. Shao T., Yuan P., Dou D., Liu C., Han J., Chen K., Wang G., Zhang W., Wang F., Hao C. Preparation and characterization of sulfated inulin-type fructans from jerusalem artichoke tubers and their antitumor activity. *Carbohydrate Research*. 2021;509:108422. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carres.2021.108422>
17. Nasriddinov A. S., Ashurov A. I., Kholov S. E., Ismoilov I. B., Usmanova S. R., Mukhidinov Z. K. Self-aggregating properties of inulin in a dilute solution. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologii* = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology. 2022;12(1):38-49. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-1-38-49>
18. Nadezhkina M. S., Sagina O. A. Inulin: properties, application. *Global Inulin Market. Modern Science*. 2020;(1-2):76-80. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42315930>
19. Budko D. Inulin market: Europe leads in global production, Russia reads missed opportunities. *Biznes pishchevykh ingredientov*. 2019;(2):46-47. (In Russ.).
20. Kaishev V. G., Lukin N. D., Seregin S. N., Kornienko A. V. Inulin market in Russia: possibilities of raw materials base development and necessary resources for creation of modern domestic production. *Pishchevaya promyshlennost'* = Food Industry. 2018;(5):8-17. (In Russ.).
21. Manokhina A. A., Starovoytov V. I., Starovoytova O. A., Mishurov N. P., Nemenushchaya L. A., Allayarov Zh. Zh. Competitive Technologies for Making Functional Products from Jerusalem Artichoke, Analytical Overview. Moscow: *FGBNU «Rosinformagrotekh»*, 2020. 84 p. URL: <https://rosinformagrotech.ru/data/send/5-rasteniyevodstvo/1412-konkurentosposobnye-tehnologii-proizvodstva-funktsionalnykh-produktov-iz-topinambura-2020>
22. Titova L. M., Alexanyan I. Yu. Inulin technology: key industry trends and issues. *Pishchevaya promyshlennost'* = Food Industry. 2016;(1):46-51. (In Russ.).
23. Starovoitov V. I., Starovoitova O. A., Zvyagintsev P. S., Lazunin Yu. T. Jerusalem artichokes - the culture of multipurpose use. *Pishchevaya promyshlennost'* = Food Industry. 2013;(4):22-25. (In Russ.).
24. Serbaeva E. R., Yakupova A. B., Magasumova Yu. R., Farkhutdinova K. A., Akhmetova G. R., Kuluev B. R. Inulin: natural sources, features of metabolism in plants and practical application. *Biomika* = Biomics. 2020;12(1):57-79. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31301/2221-6197.bmcs.2020-5>
25. Leontev V. N., Dubar D. A., Lugin V. G., Feskova E. V., Ignatovets O. S., Titok V. V. Biological potential of jerusalem artichoke as a feedstock for the food and pharmaceutical industry. *Trudy BGTU. Khimiya, tekhnologiya organicheskikh veshchestv i biotekhnologiya*. 2014;(4):227-230. (In Belarus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27386373>
26. Barloy J., Fernandez J. Synthesis on Jerusalem artichoke projects, in Topinambour (Jerusalem Artichoke). Report EUR13405, Grassi, G. and Gosse, G., Eds. Commission of the European Communities. Luxembourg, 1991. pp. 3-14.
27. BeMiller J. N. 10 – Inulin and Konjac Glucomannan. In: *Carbohydrate Chemistry for Food Scientists*. Amsterdam: Elsevier Inc., AACC International. 2019. pp. 253-259. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812069-9.00010-8>
28. Shazzo R. I., Kayshev V. G., Gish R. A., Ekutech R. I., Kornena E. P. Jerusalem Artichoke: biology, agrotechnics of cultivation, place in the ecosystem, processing technologies (yesterday, today, tomorrow). *Pod red. R. I. Shazzo*. Krasnodar: *Izdatel'skiy dom – Yug*, 2013. 184 p.
29. Vasilova E. S., Vorob'eva T. A. Dynamics of the accumulation of fructose-containing carbohydrates in the underground organs of plants from different families. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* = Chemistry of plant raw material. 2022;(1):71-80. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.20220110140>
30. Leontev V. N., Titok V. V., Dubar D. A., Ignatovets O. S., Lugin V. G., Feskova E. V. Inulin of jerusalem artichoke: biosynthesis, structure, properties, application. *Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Fiziologicheskie, biokhimicheskie i molekulyarnye osnovy funkcionirovaniya biosystem* = Proceedings of the Belarusian State University. Series of Physiological, Biochemical and Molecular Biology Sciences. 2014;9(1):180-185. (In Belarus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36554236>
31. Nayda N. M. Some features of the growth and development of wild chicory in the conditions of the crop in the Leningrad region. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2018;(50):11-17. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32741848>
32. Schittenhelm S. Agronomic performance of root chicory, Jerusalem artichoke, and sugarbeet in stress and nonstress environments. *Crop Science*. 1999;39(6):1815-1823. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1999.3961815x>
33. Zakharova I. I. Jerusalem artichoke is a valuable crop for functional nutrition. *Agroprodovol'stvennaya ekonomika* = Agro production and economics journal. 2022;(1):7-13. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.54092/24122521_2022_1_7
34. Pasko N. M. Jerusalem artichoke is biotechnological potential for food, medical, technical, feed and environmental purposes. Agro-industrial portal of the South of Russia. Available at: <http://www.agroyug.ru/page/item/id=2476> (accessed: 02.07.2022).
35. Breton C., Kiru S. D., Bervillé A., Anushkevich N. Yu. Breeding of jerusalem artichoke with the desired traits for different directions of use: retrospective, approaches, and prospects (review). *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2017;52(5):940-951. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2017.5.940rus>

36. Khutinaev O. S., Starovoitov V. I., Starovoitova O. A., Manokhina A. A., Shabanov N. E., Kolesova O. S. Growing minitubers of potato and jerusalem artichoke in a water-air environment under artificial lighting. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya «Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V. P. Goryachkina»* = Vestnik of Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education «Moscow State Agroengineering University named after V. P. Goryachkin». 2018;(4(86)):7-14. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26897/1728-7936-2018-4-7-14>
37. Manokhina A. A., Starovoitova O. A., Starovoitov V. I. Original seed art of jerusalem artichoke. *Tekhnologii i tovarovedenie sel'skokhozyaystvennoy produkcii*. 2018;(1(10)):61-65. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35192538>
38. Starovitova O. A., Starovoitov V. I., Manokhina A. A. Agrotechnique cultivation of jerusalem artichoke. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya «Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V. P. Goryachkina»* = Vestnik of Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education «Moscow State Agroengineering University named after V. P. Goryachkin». 2017;(1(77)):7-13. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28292515>
39. Starovoitova O. A. Innovative ridge technology of jerusalem artichoke and potato cultivation. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya «Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V. P. Goryachkina»* = Vestnik of Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education «Moscow State Agroengineering University named after V. P. Goryachkin». 2015;(1(65)):11-14. (In Russ.).
40. Manokhina A. A., Dorokhov A. S., Kobozeva T. P., Fomina T. N., Starovoitova O. A. Varietal characteristics of jerusalem artichoke as a high nutritional value crop for herbivorous animal husbandry. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2022;12(9):4507. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12094507>
41. Mikheev V. V., Eremchenko V. I., Eremin P. A., Zernov V. N., Petukhov S. N. Jerusalem Artichoke Tubers Harvesting Machine: Patent RF, no. 2637785, 2017.
42. Starovoitova O. A., Starovoitov V. I., Manokhina A. A. Specific conditions of storing jerusalem artichoke. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya «Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V. P. Goryachkina»* = Vestnik of Federal State Educational Establishment of Higher Professional Education «Moscow State Agroengineering University named after V. P. Goryachkin». 2018;(3(85)):7-12. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26897/1728-7936-2018-3-7-12>
43. Mu Y., Gao W., Lv S., Li F., Lu Y., Zhao C. 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;161:113411. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113411>
44. Lisovoy V. V., Pershakova T. V., Kupin A. G., Achmiz A. D., Viktorova E. P. Application of emf shf in processing technologies for vegetable material and secondary resources. *Politematicheskij setevoj elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University. 2016;118:1363-1376. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25983929>
45. 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;(1(33)):71-77. DOI: <https://doi.org/10.37493/2307-910X.2021.1.10>
46. 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;(5S):273-280. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2020-5S-273-280>
47. Gulyuk N. G., Lukin N. D., Puchkova T. S., Pikhalo D. M. Processing of inulin-containing raw materials for inulin and its derivatives. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2017;31(8):76-79. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30053606>
48. Gulyuk N. G., Mikhaylenko A. A., Ananskikh V. V., Lukin N. D., Puchkova T. S., Pikhalo D. M., Byzov V. A. Continuous diffusion apparatus: Patent RF, no. 2643243, 2018 г.
49. Kozhukhova M. A., Nazarenko M. N., Barkhatova T. V., Khripko I. A. Obtaining and identification of inulin from jerusalem artichoke (*helianthus tuberosus*) tubers. *Foods and Raw Materials*. 2015;3(2):13-22. DOI: <https://doi.org/10.12737/13115>
50. Karetkin B. A., Panfilov V. I., Baurin D. V., Shakir I. V. Ultrasonic artichoke: Optimization of conditions, purification methods, c-13nmr spectroscopy of the product. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*. 2015;1(6):641-648. DOI: <https://doi.org/10.5593/SGEM2015/B61/S25.087>
51. Mutsaev R. V., Aleksanyan I. Yu., Titova L. M. Methods of obtaining polyfruktans from vegetable raw materials. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* = International Journal of Applied And Fundamental Research. 2015;(10-3):433-436. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24113191>

52. Mamay D. S. Ultrafiltration separation of Jerusalem artichoke tuber juice. Innovative development of the agro-industrial complex of the Northern Trans-Urals: collection of materials of the regional scientific- practical conf. of young scientists. GAU of the Northern Trans - Urals. Tyumen', 2013. С. 44-46.

URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23260327>

53. Puchkova T. S., Pikhalo D. M., Varitsev P. Yu. The use of ion exchange resins in the purification of inulin-containing jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) syrups. *Pishchevaya promyshlennost'* = Food Industry. 2018;(12):38-42. (In Russ.).

54. Puchkova T. S., Byzov V. A., Pikhalo D. M., Karaseva O. M. Study of chromatographic separation of carbohydrates of inulin and oligofruc-tose. *Pishchevaya promyshlennost'* = Food Industry. 2021;(7):14-19. (In Russ.).

55. Gulyuk N. G., Puchkova T. S., Pikhalo D. M. Chromatographic separation of inulin-containing syrups carbohydrates. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2019;33(9):74-78. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10916>

56. Lukin N. D., Puchkova T. S., Pikhalo D. M., Karaseva O. M. Hydrolysis of inulin by the enzyme endoinulinase preparation of novozim 960 for the production of oligofructose. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2020;34(6):89-91. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10617>

57. Rubel I. A., Iraporda C., Novosad R., Genovese D. B., Manrique G. D. Inulin rich carbohydrates extraction from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers and application of different drying methods. *Food Research International*. 2018;103:226-233. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.041>

58. Mutsaev R. V., Nugmanov A. Kh.-Kh., Aleksanyan A. I. Intensification of drying process of inulin solution obtained by extraction from plant material. *Tekhnologii pishchevoy i pererabatyvayushchey promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniya* = Technologies for the Food and Processing Industry of AIC – Healthy Food. 2018;(1(21)):63-72. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36809867>

59. Bautin V. M., Panfilov V. A. Paradigma of development of technologies of agrarian and industrial complex. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii* = Economics of Agriculture of Russia. 2017;(6):18-31. (In Russ.).

URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29425218>

Сведения об авторе

✉ **Бызов Василий Аркадьевич**, кандидат с.-х. наук, директор, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалсодержащего сырья – филиал ФГБНУ «Федерального исследовательского центра картофеля имени А. Г. Лорха», ул. Некрасова, д. 11, п. Красково, г. о. Люберцы, Московская обл., Российская Федерация, 140051, e-mail: vniik@arrisp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1918-4455>, e-mail: byzov1966@yandex.ru

Information about the author

✉ **Vasily A. Byzov**, PhD in Agricultural Science, Director, All-Russian Research Institute of Starch and Starch-Containing Raw Materials Processing – Branch of Russian Potato Research Centre, st. Nekrasov, 11, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: vniik@arrisp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1918-4455>, e-mail: byzov1966@yandex.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author