

Разработка технологии переработки топинамбура на олигофруктозный и фруктозно-глюкозный сиропы

Николай Д. Лукин	¹	vniik@arrisp.ru	 0000-0002-2142-1897
Татьяна С. Пучкова	¹	puchkovats@ya.ru	 0000-0002-7657-6730
Дмитрий А. Казарцев	²	kda_79@mail.ru	 0000-0001-6597-2327
Андрей И. Ключников	²	kaivanov@mail.ru	 0000-0002-8161-0040
Анатолий А. Славянский	²	a.slavyanskiy@mgutm.ru	 0000-0002-0262-8841
Вера А. Грибкова	²	vera_gribkova@list.ru	 0000-0002-5079-8132

¹ Всероссийский научно-исследовательский институт крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», ул. Некрасова, д. 11, дп. Красково, г. о. Люберцы, Московская обл., 140051, Россия

² Московский государственный университет технологий и управления имени К. Г. Разумовского (Первый казачий университет), ул. Земляной вал, д. 73, г. Москва, 109004, Россия

Аннотация. На сегодняшний день объем мирового производства сахара остается значительным, превышая 180 млн. т в 2022/2023 гг. Избыточное потребление сахара связано с развитием таких заболеваний, как ожирение и сахарный диабет. Во многих странах, включая Европу, разрабатываются стратегии по снижению потребления добавленного сахара. Исследования показывают, что дети потребляют сахара больше, чем взрослые, и этот уровень значительно превышает рекомендации Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), согласно которым свободные сахара не должны составлять более 10 % от общей суточной калорийности. Таким образом, важной задачей является регулирование потребления сахара и поиск безопасных и эффективных заменителей сахара в продуктах питания. В настоящей работе рассматриваются вопросы получения олигофруктозного и фруктозно-глюкозного сиропов из клубней топинамбура и их применения в пищевой промышленности в качестве полифункционального ингредиента. Изложены оптимальные параметры технологического процесса переработки клубней топинамбура в сиропы, а также представлены процессуально-технологическая схема и характеристики получаемых сиропов по предлагаемой технологии. Существенными отличительными признаками разработанной технологии являются наличие процессов двухступенчатой мойки клубней топинамбура с обязательной рекуперацией отработанной воды, измельчения клубней с возможностью регулирования фракционного состава стружки, конвективной сушки стружки топинамбура и ее хранения с последующей переработкой, многостадийной очистки экстракта и сиропа, коагуляции, адсорбционной очистки, катионообменной и анионообменной обработки, ферментативного гидролиза, ультрафильтрации. Несмотря на повышенное начальное содержание красящих, минеральных веществ и протеина в сиропах из топинамбура результаты исследований показали, что при совокупности вышеперечисленных процессов удастся значительно сократить содержание этих примесей и получить сиропы с низкой калорийностью, представляющих собой натуральные подсластители с полезным углеводным профилем и пребиотическими свойствами. Очевидно, что с дальнейшим развитием биотехнологии пребиотические ингредиенты и натуральные сиропы из топинамбура будут все более востребованы в производстве продуктов питания и напитков.

Ключевые слова: сироп олигофруктозы, фруктозно-глюкозный сироп, топинамбур, технология переработки топинамбура, аппаратное оформление.

Development of technology for processing jerusalem artichoke into oligofructose and fructose-glucose syrups

Nikolay D. Lukin	¹	vniik@arrisp.ru	 0000-0002-2142-1897
Tatyana S. Puchkova	¹	puchkovats@ya.ru	 0000-0002-7657-6730
Dmitriy A. Kazartsev	²	kda_79@mail.ru	 0000-0001-6597-2327
Andrey I. Klyuchnikov	²	kaivanov@mail.ru	 0000-0002-8161-0040
Anatoliy A. Slavyanskiy	²	a.slavyanskiy@mgutm.ru	 0000-0002-0262-8841
Vera A. Gribkova	²	vera_gribkova@list.ru	 0000-0002-5079-8132

¹ All-Russian Research Institute of Starch and Starch-Containing Raw Materials Processing – Branch of Russian Potato Research Centre, Nekrasova St., 11, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, 140051, Russia

² K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (FCU), Zemlyanoy val st., 73, Moscow, 109004, Russia

Для цитирования

Лукин Н.Д., Пучкова Т.С., Казарцев Д.А., Ключников А.И., Славянский А.А., Грибкова В.А. Разработка технологии переработки топинамбура на олигофруктозный и фруктозно-глюкозный сиропы // Вестник ВГУИТ. 2025. Т. 87. № 1. С. 77–85. doi:10.20914/2310-1202-2025-1-77-85

For citation

Lukin N.D., Puchkova T.S., Kazartsev D.A., Klyuchnikov A.I., Slavyanskiy A.A., Gribkova V.A. Development of technology for processing jerusalem artichoke into oligofructose and fructose-glucose syrups. Vestnik VGUIT [Proceedings of VSUET]. 2025. vol. 87. no. 1. pp. 77–85. (in Russian). doi:10.20914/2310-1202-2025-1-77-85

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

Abstract. To date, global sugar production remains significant, exceeding 180 million tons in 2022/2023. Excessive sugar consumption is associated with the development of diseases such as obesity and diabetes mellitus. In many countries, including Europe, strategies are being developed to reduce the consumption of added sugar. Studies show that children consume more sugar than adults, and this level significantly exceeds the recommendations of the World Health Organization (WHO), according to which free sugars should not account for more than 10% of the total daily calorie intake. Thus, an important task is to regulate sugar consumption and find safe and effective sugar substitutes in food. This paper discusses the production of oligofructose and fructose-glucose syrups from jerusalem artichoke tubers and their use in the food industry as a multifunctional ingredient. The optimal parameters of the technological process of processing jerusalem artichoke tubers into syrups are described, as well as the procedural and technological scheme and characteristics of the syrups obtained using the proposed technology are presented. The essential distinguishing features of the developed technology are the presence of two-stage jerusalem artichoke tubers washing with mandatory waste water recovery, crushing tubers with the ability to adjust the fractional composition of the chips, convective drying of jerusalem artichoke chips and their storage with subsequent processing, multi-stage purification of extract and syrup, coagulation, adsorption purification, cation and anion exchange treatment, ultrafiltration. Despite the increased initial content of coloring, minerals and protein in jerusalem artichoke syrups, the research results have shown that using the combination of the above processes, it is possible to significantly reduce the content of these impurities and obtain low-calorie syrups, which are natural sweeteners with a beneficial carbohydrate profile and prebiotic properties. It is obvious that with the further development of biotechnology, prebiotic ingredients and natural jerusalem artichoke syrups will be increasingly in demand in the food and beverage industry.

Keywords: oligofructose syrup, fructose-glucose syrup, Jerusalem artichoke, Jerusalem artichoke processing technology, equipment design.

Введение

Разработка натуральных подсластителей с пониженной калорийностью и пребиотическими свойствами открывает новые перспективы для создания продуктов здорового питания. Эти вещества могут стать эффективной альтернативой обычному сахару, способствуя улучшению состояния здоровья населения и снижая риски, связанные с избыточным потреблением сахара [1–4].

Производство и переработка топинамбура могут эффективно решать множество современных задач в сельском хозяйстве и пищевой промышленности, включая создание диетических, детских и функциональных продуктов питания. Ни одно другое растение в мире не производит столько полезных и востребованных продуктов, как топинамбур. Топинамбур является одной из самых продуктивных культур, достигая до 200 т/га зелёной массы и 150 т/га клубней. Химический состав топинамбура варьируется в зависимости от сортовых характеристик и условий роста, таких как агротехника и климат. Содержание сухих веществ колеблется: в надземной части – от 22 до 32%, в клубнях – от 19 до 30%. Топинамбур обладает уникальным углеводным составом, основанным на фруктозе и её полимерах, главным из которых является инулин – самый ценный углевод. Инулин присутствует преимущественно в клубнях, вместе с сахарами (от 13 до 20% по сырой массе). В стеблях его значительно меньше (2–4% от сырой массы), а в листьях он отсутствует, но зато содержится крахмал и небольшие количества моносахаров и дисахаров. Инулин – неотъемлемая часть топинамбура, уровень которого меняется в зависимости от сбора и хранения. Полисахариды клеточных оболочек клубней занимают второе место после фруктозанов по количеству [5 – 10].

Клубни и надземная часть топинамбура богаты клетчаткой, белками, незаменимыми аминокислотами, витаминами, а также важными макро- и микроэлементами, и органическими, и жирными кислотами. В сравнении с картофелем, морковью и свеклой, топинамбур обладает высоким содержанием магния, железа, кремния, цинка, а также витаминов группы В и С. К тому же, его клубни не содержат солонин – алкалоид, который появляется при световой экспозиции в сыром картофеле. Топинамбур имеет уникальную способность накапливать инулин, который не усваивается в организме человека. Инулин оказывает оздоровительное действие путем селективного стимулирования роста бактерий толстой кишки. Это особенно важно для людей, страдающих диабетом.

Для эффективной системы функционального питания рекомендуется использование специальных технологий, позволяющих сохранить все полезные свойства продуктов. При переработке этого корнеплода получают инулин, сироп олигофруктозы, пектин, фруктозный сироп, кристаллическая фруктоза и диетическая клетчатка, а также разнообразные безалкогольные напитки функционального назначения. Благодаря высокому содержанию биологически активных веществ, топинамбур представляет интерес как для диетического питания, так и для пищевой промышленности для создания эффективных добавок [11 – 12].

Целью работы – разработка рациональной технологии переработки топинамбура на олигофруктозный и фруктозно-глюкозный сиропы и изучение его углеводного состава с целью дальнейшего использования в различных отраслях пищевой промышленности.

Материалы и методы

Объектами исследования являлись технология переработки топинамбура олигофруктозный и фруктозно-глюкозный сиропы.

Исследования проводились в условиях ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (ПКУ)», а также Всероссийском научно-исследовательском институте крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья – филиале ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля им. А.Г. Лорха» с учетом требований международной организации по стандартизации ISO (ИСО): определение массовой доли сухого вещества сиропа – на рефрактометре марки ИРФ-454Б2М (ГОСТ ISO 2173–2013); массовой доли золы – сжиганием в муфельной печи при температуре 650⁰С; массовой доли протеина по методу Кьельдаля – на приборе марки К-424 фирмы «BUCHI Labortechnik AG» (Германия); углеводный состав образцов – на жидкостном хроматографе углеводов с рефрактометрическим датчиком фирмы «Gilson» (Германия); величину pH сиропов – на pH-метре марки HI2210–02 фирмы «HANNA Instruments» (Швейцария); цветность на фотоэлектроколориметре марки КФК-3 при $\lambda = 420$ нм.

Результаты и обсуждение

На основании аналитического обзора, проведенных исследований в лабораториях «МГУТУ им. К.Г. Разумовского (ПКУ)» и «ВНИИ крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья», а также подбора оптимальных технологических режимов, разработана технологическая схема переработки клубней топинамбура на олигофруктозный и фруктозно-глюкозный сиропы, которая представлена на рисунке 1. В качестве инулинсодержащего растительного сырья были использованы клубни топинамбура.

Технологический процесс производства олигофруктозного и фруктозно-глюкозного сиропов включает следующие стадии: доставка, хранение и транспортирование топинамбура; подготовка сырья к переработке и мойка клубней; инспекция, калибровка; измельчение сырья; экстрагирование (диффузия); отделение экстракта от жома; коагуляция примесей экстракта; механическое фильтрование; очистка активным углем; ионообменная очистка; ультрафильтрация; ферментативный гидролиз инулина до олигофруктозы/фруктозно-глюкозного сиропа; концентрирование олигофруктозного/фруктозно-глюкозного сиропа.

В качестве инулинсодержащего растительного сырья использованы клубни топинамбура. Клубни топинамбура, поступающие на обработку в цех, размещаются в специальном хранилище для них. При сильном загрязнении клубней выполняется предварительная обработка путем погружения

в резервуар с холодной водой; для этого клубни из хранилища перемещаются через конвейер-перегрузчик в отмывочный резервуар. Для очистки поверхностного материала от примесей (почвы, соломы, песка, камней), клубни проходят двухступенчатую промывку в чистой проточной воде с использованием барботажных и щеточных моющих агрегатов до полного устранения всех заметных загрязнений, избегая при этом механических повреждений. Материал, прошедший первичную очистку, направляется на следующий этап обработки через конвейер-передатчик. Воду, используемую для замачивания и очистки сырьевых материалов, отправляют в канализацию.

После завершения повторной очистки осуществляется проверка. Корнеплоды топинамбура проверяют на специальном конвейере, удаляя при этом испорченные, больные, поврежденные вредителями, неправильной формы образцы, а также чужеродные включения, направляемые в емкость некондиционного сырья.

Первоначально клубни топинамбура взвешивают на весах и затем измельчают в резательной машине до состояния стружки. Эта стружка направляется на конвейер для последующей обработки. Чтобы избежать потемнения и сохранить свежий вид стружки на длительный срок, её обрабатывают раствором пиросульфита натрия. После этого обработанная стружка готова к экстракции.

После измельчения клубней в специальной резательной машине (с возможностью регулировки фракционного состава стружки для оптимизации процесса экстракции), полученную стружку направляют в барабанную сушилку. Важно поддерживать оптимальный температурный режим, обычно не превышающий 60–70 °С, для предотвращения карамелизации сахаров и потемнения продукта. После сушки стружка хранится в герметичных бункерах, защищенных от воздействия влаги и света, предотвращая его порчу и окисление.

Перед экстракцией сухая стружка подвергается процессу замачивания в горячей воде, обычно на 30–60 мин. Это способствует равномерному набуханию клеток и повышению эффективности извлечения инулина. Температура воды подбирается индивидуально и зависит от фракционного состава стружки. Затем набухшую стружку направляют в экстрактор для проведения диффузии, используя те же параметры, что и для свежего топинамбура, но с учетом возможных корректировок, связанных с различиями в структуре и влажности сырья. Полученный экстракт, содержащий экстрагированный инулин, далее подвергается очистке и концентрации, в зависимости от требуемого конечного продукта (чистый инулин, сироп, добавки к пище).

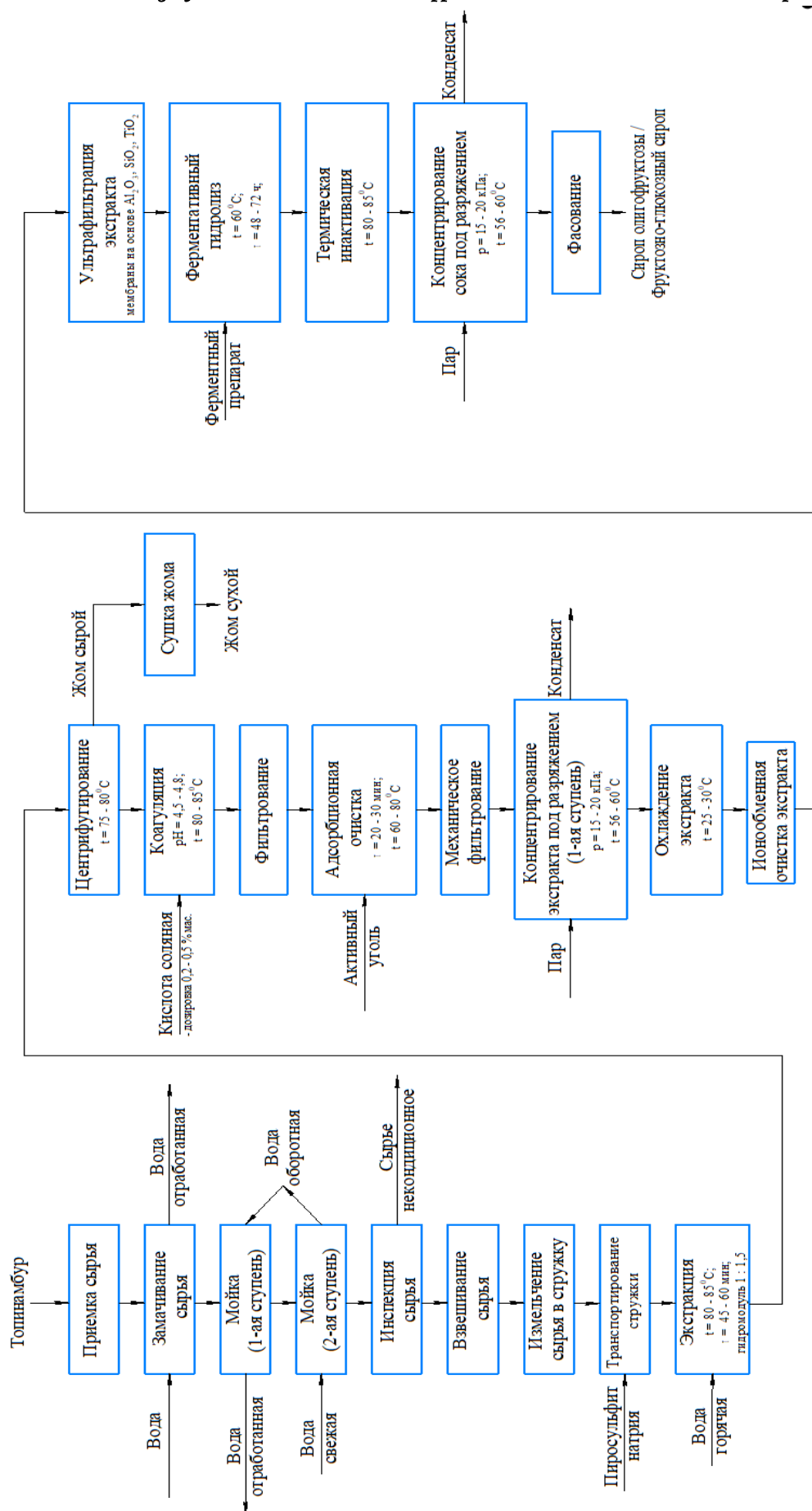


Рисунок 1. Процессуально-технологическая схема переработки топинамбура на олигофруктозный и фруктозно-глюкозный сиропы.

По завершении процесса извлечения, экстракт топинамбура со стружкой, содержащий минимум 12% сухих веществ, транспортируется насосом в шнековую центрифугу. Здесь, благодаря центробежной силе, осуществляется разделение на фракции. Твердая фракция (осадок), образовавшаяся в результате центрифугирования, помещается в бункер для жома и затем отправляется в барабанную сушилку для получения сухого жома. Высушенный до необходимой влажности жом хранится в специальном бункере. Жидкая фракция (экстракт топинамбура без стружки) направляется в накопительную емкость с мешалками, из которой насосом перекачивается в резервуар для коагуляции, где добавляется кислота для коагуляции коллоидов и осветления экстракта. После завершения коагуляции экстракт топинамбура с коагулированным белком перекачивается насосом через фильтр-пресс, что позволяет провести первую стадию фильтрации и удалить коагулированный белок. Затем экстракт топинамбура, свободный от коагулированного белка, поступает в контактный сборник для адсорбционной очистки с использованием активного угля. Очищенный экстракт топинамбура перекачивается насосом через патронный фильтр, чтобы избавиться от мелких частиц активированного угля. После фильтрации очищенный экстракт сначала помещается в ёмкость для хранения, а затем в выпарную станцию для предварительного выпаривания до уровня сухих веществ от 12 до 25 %. Для охлаждения предварительно сгущённый экстракт топинамбура насосом проходит через теплообменник с холодной водой и затем направляется в последовательно установленные катионообменные и анионообменные установки, где происходит дальнейшая очистка экстракта от протеина, зольных элементов и красящих веществ.

Для удаления оставшихся примесей и получения прозрачного продукта экстракт топинамбура, очищенный от красящих веществ, поступает в сборник и далее насосом перекачивается в установку ультрафильтрации.

Очищенный сироп подается в резервуар с мешалкой, откуда затем насосом перемещается на следующий этап выпаривания. Процесс концентрирования сиропа из топинамбура осуществляется в двухкорпусной вакуумной выпарной установке, куда он поступает при температуре, не превышающей 40 °С. Из первого корпуса выпарного устройства сгущенный сок перекачивается во второй, достигая содержания сухих веществ в диапазоне 30 – 40 %. Вакуум в установке поддерживается на уровне 15 – 20 кПа, что соответствует температуре кипения сиропа

приблизительно 60 °С. Далее с помощью проточного рефрактометра измеряется содержание сухих веществ, и при достижении 70 – 72 % сироп топинамбура перекачивается насосом в резервуар. Окончательно сгущенный сироп затем насосом отправляется в упаковочную машину, после чего упаковывается на специальном оборудовании и направляется на склад готовой продукции. Сироп топинамбура из резервуара с мешалкой насосом перекачивается для гидролиза в специальную емкость. Для производства олигофруктозного сиропа очищенный сироп подвергается частичному ферментативному гидролизу с использованием ферментного препарата эндоинулиназы, что позволяет достичь содержания редуцирующих веществ 15%, содержание олигофруктозы – не менее 90%. Условия для этого процесса: температура $60 \pm 1^\circ\text{C}$, pH 4,5–4,7, - продолжительность – 24 ч. Для получения фруктозно-глюкозного сиропа очищенный сироп также проходит частичный ферментативный гидролиз с использованием другого препарата инулиназы при тех же условиях. Продолжительность гидролиза от 5 до 24 ч в зависимости от требуемого углеводного состава фруктозно-глюкозного сиропа. После завершения ферментативного гидролиза, полученный сироп насосом переносится в теплообменник, в котором происходит нагрев для инактивации фермента.

Далее гидролизованный сироп подается на выпаривание в вакуумную установку. Сгущенный сироп, достигший уровня сухих веществ 30 – 40 %, из первого корпуса перекачивается во второй при помощи насоса. Уровень разрежения должен составлять не менее 0,07 мПа, а температура кипения не должна превышать 60 – 65 °С. Процесс выпаривания во втором корпусе контролируется по содержанию сухих веществ в сиропе с использованием проточного рефрактометра. Сироп олигофруктозы, после достижения концентрации сухих веществ 71 – 73 %, перекачивается в накопитель олигофруктозного и фруктозно-глюкозного сиропа с помощью винтового насоса. Затем окончательно сгущенный сироп направляется насосом в фасовочную машину, после чего емкости укупориваются на соответствующем оборудовании и отправляются на склад готовой продукции. Учет готовой продукции осуществляется путем взвешивания в холодильном помещении (на весах) или на весах во время розлива. Основные контролируемые параметры процесса концентрирования включают содержание сухого вещества, не превышающее 74 %, и температуру, не превышающую 60 °С.

Качественные показатели олигофруктозного и фруктозно-глюкозного сиропов (ФГС) представлены в таблицах 1 и 2 соответственно, углеводный ФГС – в таблицах 3 и 4 соответственно.

Таблица 1.

Качественные показатели олигофруктозного сиропа

Table 1.

Qualitative parameters of oligofructose syrup

Показатель Indicator	Значение Value
Органолептические показатели Organoleptic parameters	густая вязкая жидкость, слегка сладковатая на вкус, без постороннего привкуса и запаха, от бесцветного до бледно-жёлтого цвета, прозрачный, допускается опалесценция thick viscous liquid, slightly sweet to taste, without extraneous taste and odor, colorless to pale yellow, transparent, opalescence is allowed
Массовая доля сухого вещества, %, не менее Mass fraction of dry matter, %, not less	73
Содержание фруктоолигосахаридов (ФОС) и олигофруктозидов, %, не менее Content of fructooligosaccharides (FOS) and oligofructosides, %, not less	93
Содержание ди- и моносахаридов, %, не более Content of di- and monosaccharides, %, not more	7
Содержание золы, %, не более Ash content, %, not more	0,3

Таблица 2.

Качественные показатели фруктозно-глюкозного сиропа

Table 2.

Qualitative parameters of fructose-glucose syrup

Показатель Indicator	Значение Value
Органолептические показатели Organoleptic parameters	прозрачная вязкая жидкость без осадка, помутнений и посторонних включений; цвет – от бесцветного до янтарного различной интенсивности; вкус – сладкий без горечи; запах – отсутствует, допускается легкий фруктовый или карамельный аромат transparent viscous liquid without sediment, turbidity and foreign inclusions; color - from colorless to amber of varying intensity; taste - sweet without bitterness; odor - absent, light fruity or caramel aroma is allowed.
Массовая доля фруктозы, % Mass fraction of fructose, %	65–67
Массовая доля глюкозы, % Mass fraction of glucose, %	13–15
Дисахариды, % Disaccharides, %	20–22
Сухое вещество, % Dry matter, %	70±1
Зольный остаток (сульфаты), % Ash residue (sulfates), %	≤0,4
pH	4,5 – 7,0

Таблица 3.

Углеводный состав концентрированного ФГС

Table 3.

Carbohydrate composition of concentrated FGS

Показатели качества ФГС							
СВ, % DM, %	pH	Зола, % Ash, %	Протеин, % Protein, %	Углеводный состав по ВЭЖХ на 100% углеводов			
				инулин inulin	дисахариды disaccharides	глюкоза glucose	фруктоза fructose
71,5	4,85	6,15	9,30	21,08	3,30	12,58	63,04

Таблица 4.

Качественные показатели сиропа ФГС после выпаривания и очистки

Table 4.

Quality parameters of FGS syrup after evaporation and purification

Образец Sample	СВ, % DM, %	Протеин, % Protein, %	Зола, % Ash, %	Цветность, ед. опт. пл. при $\lambda = 420$ нм Chromaticity, opt. pl. units. at $\lambda = 420$ nm
Сироп после выпаривания Syrup after evaporation	36,4	11,34	6,05	–
Сироп после выпаривания и очистки активным углем марки ОУ-Б Syrup after evaporation and purification with active carbon of OU-B grade	36,0	9,93	5,90	3,66

В образцах ФГС определена зола, протеин и цветность сиропа (при $\lambda = 420$ нм) после очистки активным углем марки ОУ-Б. Дозировка активного угля составляла 4%. Цветность после очистки визуально отличалась, но осталась высокой – 3,66 ед. опт. пл. Полученные данные свидетельствуют о снижении содержания протеина после центрифугирования и очистки активным углем [13, 14].

Все показатели качества как готового концентрированного сиропа из топинамбура, так и фруктозно-глюкозного сиропа (ФГС), определенные в лабораторных условиях ВНИИК, соответствуют требованиям для их применения в пищевой промышленности.

Заключение

Разработана технология переработки топинамбура на олигофруктозный и фруктозно-глюкозный сиропы, включающая прогрессивные способы очистки сиропов с помощью мембранных, ионообменных и адсорбционных методов, позволяющих обеспечить высокое качество конечного продукта.

Ключевыми аспектами разработанной технологии являются:

– двухступенчатая мойка клубней топинамбура с рекуперацией воды и отсутствием механических повреждений сырья;

– измельчение клубней топинамбура с возможностью регулировки фракционного состава стружки для оптимизации процесса экстракции;

– сушка стружки топинамбура при температуре 60–70 °С для минимизации потерь инулина и сохранения качества сырья;

– коагуляция и адсорбционная очистка экстракта топинамбура активным углем при дозировке угля 4–8% по сухому веществу продукта для снижения растворимых азотистых соединений, зольных элементов и красящих веществ.

– катионообменная и анионообменная очистка сиропа для деминерализации, удаления протеина, красящих веществ и других нежелательных примесей из сиропа;

– ультрафильтрация экстракта на керамических мембранах с размером пор 5–8 кДа с целью удаления высокомолекулярных веществ инулиновой природы с молекулярной массой более 6,5 кДа и коллоидно-дисперсных веществ.

Тем самым инулин и сиропы, получаемые на его основе, представляют собой не просто тренд, но и необходимость для будущего пищевой промышленности, открывая новые горизонты для формирования более здорового и сбалансированного питания [15–18].

Литература

- 1 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.
- 2 Жарков А.В., Патласов О.Ю. Формирование агропромышленного биоэнергетического кластера по селекции, выращиванию и глубокой переработке топинамбура // Наука о человеке: гуманитарные исследования. 2014. № 2(16). С. 83–89.
- 3 Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Звягинцев П.С., Лазунин Ю.Т. Топинамбур – культура многоцелевого использования // Пищевая промышленность. 2013. № 4. С. 22–25.
- 4 Бызов В.А. Системный анализ состояния и перспективы развития производства инулина (обзор) // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. № 6. С. 757–776.
- 5 Титов Л.М., Алексанян И.Ю. Технология инулина: основные тенденции развития отрасли и спорные вопросы // Пищевая промышленность. 2016. № 1. С. 46–51.
- 6 Филатов С.Л., Михайличенко М.С., Петров С.М., Подгорнова Н.М. Натуральные сиропы из топинамбура с пребиотическими свойствами // Пищевая промышленность. 2021. № 11. С. 15–21.
- 7 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. P. 13–22. doi: 10.12737/13115.
- 8 Зелепукин Ю.И., Яньшин В.П., Швецов Н.Н., Зелепукин С.Ю. Производство сахаросодержащих сиропов // Сахар. 2022. № 1. С. 32–36.
- 9 Гулюк Н.Г., Лукин Н.Д., Пучкова Т.С., Пихало Д.М., Гулакова В.А. Переработка инулинсодержащего сырья на инулин и его производные // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 3. С. 76–79.
- 10 Кисиева М.Т., Зяблицева Н.С., Компанцев В.А., Белоусова А.Л., Васина Т.М. Совершенствование способа получения сиропа, содержащего фруктозу, из клубней топинамбура // БМЖ. 2012. № 2. С. 102–103.
- 11 Khripko I.A. et al. Inulin from Jerusalem Artichoke: Biosynthesis and Application in Functional Foods // Journal of Functional Foods. 2015. Vol. 12. P. 123–130. doi: 10.1016/j.jff.2014.10.008.
- 12 Бараненко Д.А., Борисова И.И. Обоснование технологических параметров производства стабильных при хранении функциональных ингредиентов из топинамбура // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств». 2014. № 4. С. 13–20.
- 13 Гулюк Н.Г., Лукин Н.Д., Пучкова Т.С., Пихало Д.М., Гулакова В.А. Об очистке экстракта из инулинсодержащего сырья // Пищевая промышленность. 2017. № 2. С. 24–26.
- 14 Пучкова Т.С., Пихало Д.М., Варицев П.Ю. Использование ионообменных смол для очистки инулинсодержащих сиропов из топинамбура // Пищевая промышленность. 2018. № 12. С. 38–42.
- 15 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. V. 26. Article 100281. doi: 10.1016/j.bcdf.2021.100281.

- 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. V. 509. Article 108422. doi: 0.1016/j.carres.2021.108422.
- 17 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. V. 103. P. 226–233. doi: 10.1016/j.foodres.2017.10.041.
- 18 Singh R.S., Singh T. *Enzymatic Approaches for the Synthesis of High Fructose Syrup // Biotechnological Production of Bioactive Compounds*. Springer. 2018. P. 167–186. doi: 10.1007/978-981-10-4732-9_10.
- 19 Cabrera F. et al. Inulin-Rich Carbohydrates Extraction from Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) Tubers and Application of Different Drying Methods // *Food Research International*. 2018. Vol. 105. P. 1–9. doi: 10.1016/j.foodres.2017.10.026.
- 20 Zokirov B.U., Ismoilova M.R., Ravshanov S.S. Production of Crystalline Fructose from Jerusalem Artichoke Tubers // *Universum: Chemistry and Biology*. 2021. No. 7 (85). P. 45–50. doi: 10.32743/UniChemBio.2021.85.7.45.

References

- 1 Puchkova T.S., Byzov V.A., Pikhalo D.M., Karaseva O.M. Technological assessment and quality requirements for Jerusalem artichoke and chicory for processing into inulin and its derivatives. *Food Industry*. 2021. no. 10. pp. 86–91. (in Russian)
- 2 Zharkov A.V., Patlasov O.Yu. Formation of an agro-industrial bioenergy cluster for the selection, cultivation, and processing of Jerusalem artichoke. *Human Science: Humanities Research*. 2014. no. 2(16). pp. 83–89. (in Russian)
- 3 Starovoytov V.I., Starovoytova O.A., Zvyagintsev P.S., Lazunin Yu.T. Jerusalem artichoke as a multi-purpose crop. *Food Industry*. 2013. no. 4. pp. 22–25. (in Russian)
- 4 Byzov V.A. Systems analysis of the state and development prospects of inulin production: review. *Agrarian Science of the Euro-North-East*. 2022. no. 6. pp. 757–776. (in Russian)
- 5 Titov L.M., Aleksanyan I.Yu. Inulin technology: key industry development trends and controversial issues. *Food Industry*. 2016. no. 1. pp. 46–51. (in Russian)
- 6 Filatov S.L., Mikhailichenko M.S., Petrov S.M., Podgornova N.M. Natural Jerusalem artichoke syrups with prebiotic properties. *Food Industry*. 2021. no. 11. pp. 15–21. (in Russian)
- 7 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. doi: 10.12737/13115.
- 8 Zelepukin Yu.I., Yanshin V.P., Shvetsov N.N., Zelepukin S.Yu. Production of sugar-containing syrups. *Sugar*. 2022. no. 1. pp. 32–36. (in Russian)
- 9 Gulyuk N.G., Lukin N.D., Puchkova T.S., Pikhalo D.M., Gulakova V.A. Processing inulin-containing raw materials into inulin and its derivatives. *Achievements of Science and Technology of the Agro-Industrial Complex*. 2017. vol. 31. no. 3. pp. 76–79. (in Russian)
- 10 Kisieva M.T., Zyblytseva N.S., Kompantsev V.A., Belousova A.L., Vasina T.M. Improving the method for producing fructose-containing syrup from Jerusalem artichoke tubers. *BMZh*. 2012. no. 2. pp. 102–103. (in Russian)
- 11 Khripko I.A. et al. Inulin from Jerusalem Artichoke: Biosynthesis and Application in Functional Foods // *Journal of Functional Foods*. 2015. Vol. 12. P. 123–130. doi: 10.1016/j.jff.2014.10.008.
- 12 Baranenko D.A., Borisova I.I. Justification of technological parameters for the production of stable functional ingredients from Jerusalem artichoke. *Scientific Journal of NRU ITMO. Series: Processes and Equipment of Food Production*. 2014. no. 4. pp. 13–20. (in Russian)
- 13 Gulyuk N.G., Lukin N.D., Puchkova T.S., Pikhalo D.M., Gulakova V.A. On the purification of extract from inulin-containing raw materials. *Food Industry*. 2017. no. 2. pp. 24–26. (in Russian)
- 14 Puchkova T.S., Pikhalo D.M., Varitsev P.Yu. Use of ion-exchange resins for purification of inulin-containing syrups from Jerusalem artichoke. *Food Industry*. 2018. no. 12. pp. 38–42. (in Russian)
- 15 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. vol. 26. Article 100281. doi: 0.1016/j.bcdf.2021.100281.
- 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. vol. 509. Article 108422. doi: 0.1016/j.carres.2021.108422.
- 17 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. vol. 103. pp. 226–233. doi: 10.1016/j.foodres.2017.10.041.
- 18 Singh R.S., Singh T. *Enzymatic Approaches for the Synthesis of High Fructose Syrup // Biotechnological Production of Bioactive Compounds*. Springer. 2018. P. 167–186. doi: 10.1007/978-981-10-4732-9_10.
- 19 Cabrera F. et al. Inulin-Rich Carbohydrates Extraction from Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) Tubers and Application of Different Drying Methods // *Food Research International*. 2018. Vol. 105. P. 1–9. doi: 10.1016/j.foodres.2017.10.026.
- 20 Zokirov B.U., Ismoilova M.R., Ravshanov S.S. Production of Crystalline Fructose from Jerusalem Artichoke Tubers // *Universum: Chemistry and Biology*. 2021. No. 7 (85). P. 45–50. doi: 10.32743/UniChemBio.2021.85.7.45.

Сведения об авторах

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

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

Дмитрий А. Казарцев д.т.н., доцент, заведующий кафедрой технологии виноделия, броидильных производств и химии имени 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>

Андрей И. Ключников д.т.н., доцент, кафедра технологии виноделия, броидильных производств и химии имени 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>

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@mgutm.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0262-8841>

Вера А. Грибкова к.т.н., доцент, и.о. заведующего кафедрой биотехнологий продуктов питания из растительного и животного сырья, Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (ПКУ), ул. Земляной вал, 73, г. Москва, 109004, Россия, vera_gribkova@list.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5079-8132>

Вклад авторов

Николай Д. Лукин консультация в ходе исследования
Татьяна С. Пучкова консультация в ходе исследования
Дмитрий А. Казарцев написал рукопись, корректировал её до подачи в редакцию и несет ответственность за плагиат
Андрей И. Ключников обзор литературных источников по исследуемой проблеме, провел эксперимент
Анатолий А. Славянский организовал производственные испытания
Вера А. Грибкова предложила методику проведения эксперимента и провела эксперимент

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about authors

Nikolay D. Lukin Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Director for Scientific Work, 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@ya.ru

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

Dmitriy A. Kazartsev Doctor of Technical Sciences, 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>

Andrey I. Klyuchnikov Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, 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, kaivanov@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8161-0040>

Anatoliy A. Slavyanskiy Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Innovative Technologies of Vegetable Products, K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (FCU), Zemlyanoy Val st., 73, Moscow, 109004, Russia, a.slavyanskiy@mgutm.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0262-8841>

Vera A. Gribkova Cand. Sci. (Engin.), Acting Head of the Department of Biotechnology of Food products from plant and animal raw materials, K.G. Razumovsky Moscow State University of technologies and management (FCU), Zemlyanoy Val st., 73, Moscow, 109004, Russia, vera_gribkova@list.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5079-8132>

Contribution

Nikolay D. Lukin consultation during the study
Tatyana S. Puchkova consultation during the study
Dmitriy A. Kazartsev wrote the manuscript, correct it before filing in editing and is responsible for plagiarism
Andrey I. Klyuchnikov review of the literature on an investigated problem, conducted an experiment
Anatoliy A. Slavyanskiy organized production trials
Vera A. Gribkova proposed a scheme of the experiment and conducted an experiment

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила 01/02/2025	После редакции 18/02/2025	Принята в печать 10/03/2025
Received 01/02/2025	Accepted in revised 18/02/2025	Accepted 10/03/2025