



АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ КЛУБНЕЙ ТОПИНАМБУРА

Игорь Алексеевич Бакин ¹, Анна Андреевна Макарова ²,
Шаген Вазгенович Гаспарян ³

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия

¹ bakin@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5678-1975>

² a.makarova@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3189-4057>

³ gas_shag@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7161-3654>

Аннотация. В клубнях топинамбура (*Helianthustuberosus* L.) содержится значительное количество углеводов, имеющих пребиотический потенциал. Полуфабрикат переработки клубней является продуктом функционального и диетического питания. Оболочки клубней снижают питательные и функциональные свойства сырья, ухудшают органолептические показатели. Товарная подготовка включает стадии очистки от почвенных примесей и покрывных тканей. Рассмотрены агротехнологические приемы первичной обработки клубней, включающие операции инспекции и сортировки, мойки и удаления посторонних соединений. С целью выявления устойчивой технологии очистки клубней топинамбура, согласно подходу с использованием принципов ХАССП, проведены исследования для идентификации и анализа опасностей, возникающих на каждом этапе технологического процесса с использованием различных способов очистки. Установлено, что критическими контрольными точками в линии первичной обработки топинамбура являются очистка и последующее хранение. Рассчитаны факторы опасностей для различных способов очистки. Для химического способа установлена опасность наличия остаточного количества щелочи, которая оценена в 12 баллов. Для механической очистки физическая опасность (попадание посторонних примесей и абразивного материала в толщу клубня) и биологическая опасность (микробная контаминация клубней при повреждении элементами оборудования) оценена 9 и 12 баллами. Для термического способа физическая опасность при проваривании клубнеплодов и механических повреждениях установлена в 6 баллов. Исходя из числа возникновения опасностей и их оценки выявлен наиболее устойчивый и безопасный термический способ очистки. Разработан план управления опасностями при использовании разных способов очистки и предложены рекомендации по предупреждающим действиям, направленным на устранение или снижение возникающих рисков в ходе технологического процесса, гарантирующих его устойчивость. Описаны методы контроля (система мониторинга) операций первичной переработки топинамбура и программа обязательных предварительных мероприятий, включающая инструкции методов очистки и надлежащего использования оборудования.

Ключевые слова: топинамбур (*Helianthustuberosus* L.), очистка, устойчивость, инулин, технологический процесс, риски, безопасность.

Благодарности: Работа выполнена за счет средств Программы развития университета в рамках Программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030».

Для цитирования: Бакин И. А., Макарова А. А., Гаспарян Ш. В. Анализ устойчивости технологии очистки клубней топинамбура // Ползуновский вестник. 2023. № 3. С. 21–33. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.003. EDN: <https://elibrary.ru/ECXULO>.

Original article

STABILITY ANALYSIS OF TECHNOLOGY FOR CLEANING TOPINAMBUR TUBERS

Igor A. Bakin¹, Anna A. Makarova², Shagen V. Gasparyan³

^{1,2,3} Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

¹ bakin@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5678-1975>

² a.makarova@rgau-msha.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3189-4057>

³ gas_shag@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7161-3654>

Abstract. *Jerusalem artichoke tubers (*Helianthus tuberosus* L.) contain a significant amount of carbohydrates with prebiotic potential. The semi-finished product of tuber processing is a product of functional and dietary nutrition. Tuber shells reduce the nutritional and functional properties of raw materials, worsen organoleptic characteristics. Commodity preparation includes the stages of cleaning from soil impurities and covering fabrics. The agrotechnological methods of primary processing of tubers are considered, including the operations of inspection and sorting, washing and removal of foreign compounds. In order to identify a sustainable technology for cleaning Jerusalem artichoke tubers according to the approach using the HACCP principles, studies were carried out to identify and analyze the hazards that arise at each stage of the technological process using various cleaning methods. It has been established that the critical control points in the Jerusalem artichoke primary processing line are cleaning and subsequent storage. Hazard factors for various cleaning methods are calculated. For the chemical method, the danger of the presence of a residual amount of alkali has been established, which is estimated at 12 points. For mechanical cleaning, physical hazard (ingress of foreign impurities and abrasive material into the thickness of the tuber) and biological hazard (microbial contamination of tubers when damaged by equipment elements) were rated 9 and 12 points. For the thermal method, the physical danger during the boiling of tubers and mechanical damage is set at 6 points. Based on the number of occurrence of hazards and their assessment, the most stable and safe thermal cleaning method was identified. A hazard management plan has been developed for the use of various cleaning methods and recommendations have been made for preventive actions aimed at eliminating or reducing emerging risks during the process, guaranteeing its stability. Methods of control (monitoring system) of Jerusalem artichoke primary processing operations and a program of mandatory preliminary measures are described, including instructions for cleaning methods and proper use of equipment.*

Keywords: *Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.), cleaning, sustainability, inulin, technological process, risks, safety.*

Acknowledgements: *The work was carried out at the expense of the University Development Program within the framework of the Strategic Academic Leadership Program "Priority 2030".*

For citation: Bakin, I.A., Makarova, A.A., Gasparyan, Sh.V. (2023). Stability analysis of technology for cleaning topinambur tubers. *Polzunovskiy vestnik*, (3), 21-33. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.003. EDN: <https://elibrary.ru/ECXULO>.

ВВЕДЕНИЕ

Топинамбур (*Helianthus tuberosus* L.) широко распространен на всей территории России, дает высокие урожаи, морозо- и засухоустойчив. В клубнях топинамбура содержится значительное количество углеводов, из которых до 70–90 % составляют полисахариды, включая инулин [1]. Известно, что фруктаны инулинового ряда являются пребиотиками, оказывающими благотворное влияние на микрофлору желудочно-кишечного тракта. Полезные свойства этого неперевариваемого олигосахарида вызывают интерес к его использованию в качестве ингредиента функциональных продуктов с низким гликемическим индексом и альтернативы сахарам [2].

При хранении клубней топинамбура происходит деградация полимеров инулина и, следовательно, снижение функциональных свойств. В связи с этим используются переработанные полуфабрикаты топинамбура в виде инулино-пектиновых концентратов, фруктозо-глюкозных сиропов, высушенных волокон и мучных смесей [3]. Предварительная обработка клубнеплодов позволяет уменьшить потери массы и питательной ценности сырья, сократить ферментативное потемнение и повысить качество продукции. Полуфабрикат из топинамбура применяется как заменитель сахара и муки в молочных продуктах, крупах и хлебобулочных изделиях для снижения калорийности

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ КЛУБНЕЙ ТОПИНАМБУРА

и в качестве пребиотика [4]. Требования технологии к органолептическим показателям, в частности цвету полуфабриката, вызывают необходимость поиска технологических приемов для полной очистки клубней не только от загрязнений, но и от оболочек.

Проблемой промышленной первичной обработки клубней топинамбура является сложность их очистки от почвенных примесей и покрывных тканей клубнеплодов. Оболочка снижает питательные и функциональные свойства сырья, а также ухудшает органолептические показатели продукции. Для продуктов длительного хранения, таких как фруктозо-глюкозных сиропов и измельченных порошков, наличие продуктов переработки покрывных тканей приводит к потемнению цвета и появлению характерного запаха. Агротехнологические приемы первичной обработки клубней включают операции мойки, сортировки, инспекции и удаления посторонних соединений. Зачастую, вследствие сложной морфологии клубней, не удается достичь полного очищения от примесей и отделения оболочек [5].

В настоящее время для выявления оптимальных технологий и устойчивых методов обработки успешно используется методология, основанная на принципах ХАССП, имплементирующая детекцию, оценку и управление опасностями [6]. Этот метод нашел отражение применительно к технологическим цепочкам первичного производства в стандарте ISO 22000 [7]. Согласно подходу, проведены исследования технологии пищевых продуктов для идентификации и анализа опасностей [8]. Исследователями описаны процедуры для контроля операций переработки свежесобранного сырья и инспекции методов очистки, повторной сборки оборудования и надлежащего использования дезинфицирующих средств [8].

В России ГОСТ Р ИСО 22000 предполагает контроль абсолютно всей цепи производства, куда включены не только принципы ХАССП, а также требования относительно обмена информацией, программ обязательных предварительных мероприятий и прослеживаемости [9, 10].

В связи с изложенным актуальным становится исследование способов первичной обработки клубней топинамбура от загрязнений и

покрывных тканей для выявления и анализа потенциальных опасностей с целью обоснования устойчивых методов очистки клубнеплодов.

Цель исследований: определить устойчивость линии первичной обработки клубней топинамбура (*Helianthus tuberosus L.*).

Задачи исследования: провести анализ агротехнологических приемов первичной обработки клубней; провести идентификацию и анализ опасностей, возникающих на каждом этапе технологического процесса; оценить факторы опасностей для различных способов очистки; разработать план управления опасностями и предложить рекомендации по предупреждающим действиям.

МЕТОДЫ

Объектами исследования являлись технологические операции очистки клубней топинамбура (*Helianthus tuberosus L.*) в линии первичной обработки.

Методология анализа агротехнологических приемов заключалась в рассмотрении технологической последовательности технологического процесса очистки клубней топинамбура. Предварительная подготовка топинамбура инициализируется с инспекцией по качеству и размеру. Далее рассмотрены стадии сухого удаления загрязнений, после чего проанализированы мойка клубней топинамбура и мокрая очистка. Завершается технологический процесс этапами доочистки (при необходимости) и промыванием с последующим хранением выработанного полуфабриката.

Анализ опасностей проводился по алгоритму ГОСТ Р 51705.1-2001 [10], с использованием диаграммы анализа рисков и метода «Дерева принятия решений». Оценка опасностей проводилась экспертным методом, с учетом доступной информации и имеющегося практического опыта. Алгоритм включал выявление и анализ вероятности реализации опасного фактора и оценивание тяжести последствий при его реализации. Оценки варьировались на четырех уровнях, при вероятностях возникновения от высокой до незначительной и тяжести последствий – от тяжелой до незначительной (табл. 1).

Таблица 1 – Количественные оценки шкалы опасностей

Table 1 – Quantitative assessments of the hazard scale

Тяжесть последствий	Вероятность возникновения			
	Незначительная (1)	Низкая (2)	Умеренная (3)	Высокая (4)
Незначительная (1)	1	2	3	4
Низкая (2)	2	4	6	8
Умеренная (3)	3	6	9	12
Тяжелая (4)	4	8	12	16

1–2	Минимальные риски	3–4	Умеренные риски	4–16	Критические риски
-----	-------------------	-----	-----------------	------	-------------------

РЕЗУЛЬТАТЫ

На первом этапе обобщались данные о стадиях технологии первичной обработки клубнеплодов. Блок-схема технологического процесса очистки клубнеплодов представлена на рисунке 1.

Начальной стадией выделены приемы инспекции (по размеру и качеству), сортировки и калибровки. Результатом является отделение от клубней посторонних и почвенных примесей, удаление дефектных клубнеплодов (загнившие, побитые, поврежденные вредителями) и разделение по размерам. Целью операций является уменьшение влияния технических факторов и потерь сырья по массе. Исходя из ранее проведенных исследований и нормативных требований [11] рекомендованы предупреждающие действия: визуальный контроль качества и размера клубней.

На второй стадии (мытья) производится удаление почвенных загрязнений с поверхности клубней для улучшения санитарных условий в дальнейшей обработке. Оборудование включает моечные машины, картофелечистки с дисками без абразивной облицовки, моечно-очистительные машины или ручные операции [12]. Цель: улучшение санитарного состояния сырья и оборудования (машин), а также увеличение сроков эксплуатации шероховатой поверхности терочных дисков. Предупреждающие действия: соблюдение технологического процесса (параметры и время).

Третьей стадией является очистка клубней с целью удаления с них покровных тканей и остатков загрязнений. Рассмотрены три способа очистки (химическая, механическая и термическая), наиболее распространенных в технологиях переработки продукции растениеводства [16]. Ниже приведен анализ способов очистки.

1. Термическая очистка

а) паровой способ заключается в обработке паром под давлением в течение короткого промежутка времени с дальнейшим удалением кожицы (1–2 мм поверхностного слоя мякоти) струей воды на моечно-очистительной машине. Указанный способ оказывает комбинированное влияние на клубнеплоды: пар под давлением (0,3–0,5 МПа) и температура (140–180 °С), резкое изменение давлений при выходе из аппарата, гидравлическое и механическое трение. Предупреждающие действия: соблюдение параметров и продолжительности обработки; контроль глубины и степени размягчения подкожного слоя;

б) пароводотермический способ – кратковременная обработка сырья паром с применением теплового оборудования – автоклава или термостата, затем водяная – неко-

торое время в автоклаве (под воздействием образующегося конденсата), но главным образом в термостате и моечно-очистительной машине. Затем происходит механическое удаление поверхностных слоев клубней из-за трения клубней между собой в автоклаве и моечно-очистительной машине. В дальнейшем охлаждение осуществляется на моечно-очистительной машине путем ополаскивания холодной водой. Предупреждающие действия: предварительная рассортировка по размеру (для достижения равномерной проваренности всех слоев по сечению клубня); дозирование по массе (обеспечение свободных 20 % объема для хорошего перемешивания сырья); контроль режима обработки в зависимости от калибра сырья, температуры воды в термостате (75 °С), толщина мякоти ткани проваренной части подкожного слоя (не более 1 мм, визуальная оценка – отсутствие жесткой сердцевины и легкое отделение кожуры при механическом нажиме).

2. Механическая очистка (абразивной поверхностью, системой ножей, сжатым воздухом)

Производится удаление кожицы методом стирания периодического или непрерывного действия на машинах, обеспечивающих непрерывную подачу в них воды из сопел под давлением 1–1,2 МПа для смывания и удаления отходов. Предупреждающие действия: контроль изношенности абразивной поверхности; контроль параметров обработки (частота вращения, заполнение рабочего органа, подача воды). Недопустимо увеличение загруженности больше нормы, что приводит к увеличению времени пребывания клубнеплодов в очистительной машине и, как следствие, излишнему увеличению процента отходов и неравномерной очистке загруженной партии сырья. Недостаточная загрузка рабочего объема способствует снижению производительности и чрезмерному разрушению наружных клеток, вызванных ударами клубней по стенкам, что приводит к потемнению топинамбура после очистки.

3. Химическая очистка

Основана на воздействии горячих растворов щелочей на клубнеплоды в установках барабанного типа, в результате чего происходит расщепление протопектина поверхностного слоя клубня, приводящая к нарушению связи кожицы с клетками мякоти. После обработки щелочью кожура смывается в щеточных, роторных или барабанных моечных машинах в течение 2–4 мин водой под давлением 0,6–0,8 МПа. Предупреждающие действия: регулировка и контроль температуры (90–95 °С) и концентрации раствора щелочи

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ КЛУБНЕЙ ТОПИНАМБУРА

(6–12 %), продолжительность щелочной обработки (5–6 мин); тщательное промывание после обработки.

На четвертой стадии проанализированы операции доочистки и промывания для удаления остатков кожицы и дефектных мест клубней вручную. Клубни после очистки механическим способом нуждаются в дополнительной инспекции и доочистке. При механическом способе очистки топинамбура происходит повреждение клеток, что приводит к разрыву вакуолей и вытеканию клеточного сока, содержащего полифенолы, ввиду чего образуется благоприятная среда, приводя-

щая к взаимодействию с кислородом воздуха. Процесс окисления фенольных соединений запускается с участием окислительно-восстановительных ферментов – пероксидазой и полифенолоксидазой, вследствие чего поверхность клубней темнеет. Предупреждающие действия: после очистки сырье заливается водой, в дальнейшем процессе доочистки и резки интенсивно смачивается поверхность клубнеплодов.

Проведен анализ линии очистки топинамбура и идентифицированы опасности, возникающие на всех стадиях технологического процесса (табл. 2).

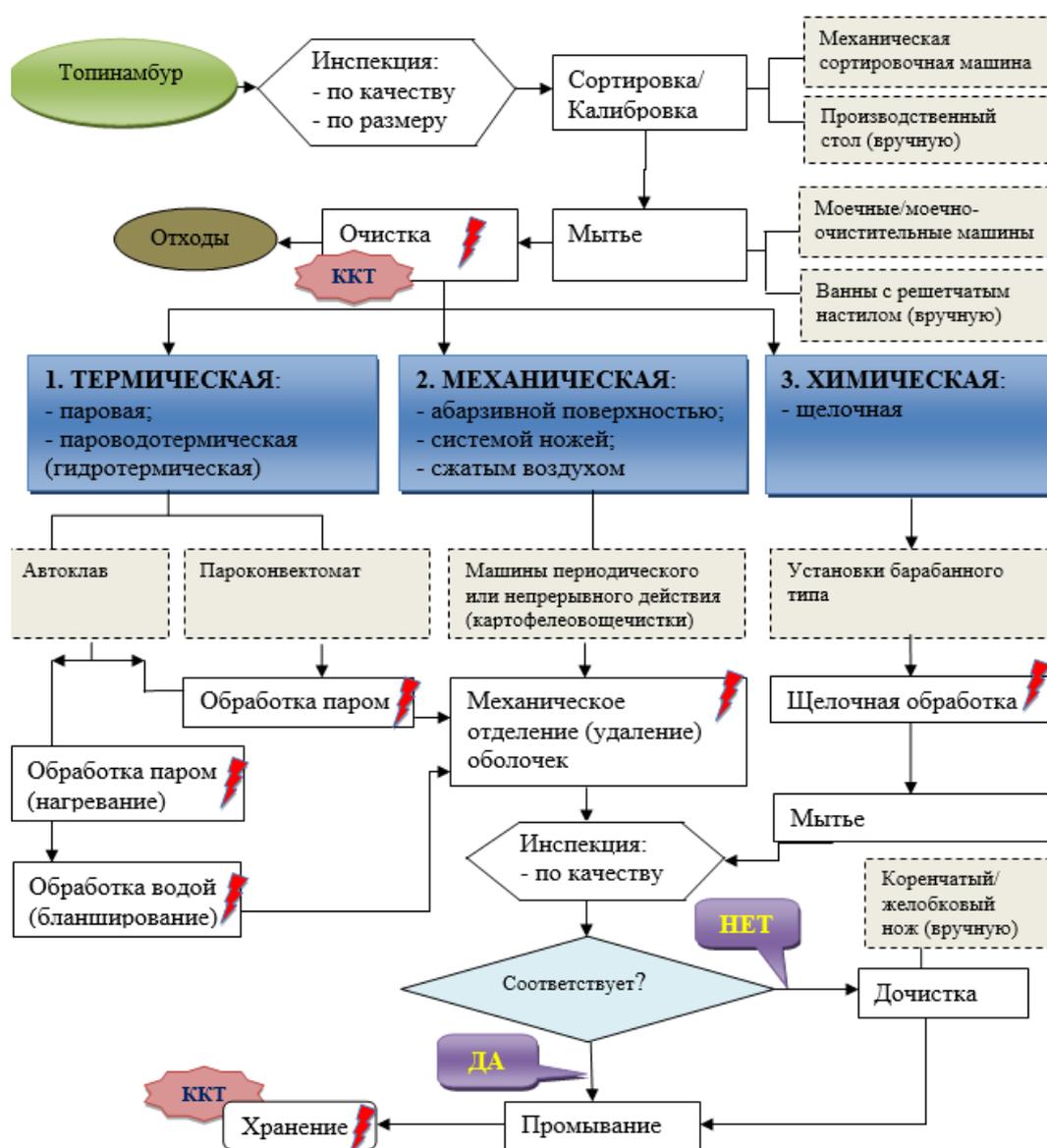


Рисунок 1 – Поточная диаграмма технологического процесса очистки клубней топинамбура

Figure 1 – Flow diagram of the technological process of cleaning Jerusalem artichoke tubers

Таблица 2 – Идентификация опасностей при использовании разных способов очистки клубней топинамбура

Table 2 – Identification of hazards when using different methods of cleaning Jerusalem artichoke tubers

Объект / процесс	Вид опасности: Биологическая («БО»), Физическая («ФО»), Химическая («ХО»), в том числе аллергены	Характеристика опасного фактора
1	2	3
1. Входной контроль	БО плесени, патогенная микрофлора; микроорганизмы; паразиты; зоонозные патогены, сельскохозяйственные вредители и отходы их жизнедеятельности	Несоблюдение режимов и условий транспортирования: температура, товарное соседство и санитарное состояние ТС. Нарушение сроков годности
	ФО почвенные загрязнения; посторонние включения неорганического происхождения (металлопримеси, пластиковые материалы и др.); механические повреждения	Остаточное количество земли на поверхности клубнеплодов, наличие раздавленных и механически поврежденных, запаренных, подмороженных клубней топинамбура из-за несоблюдения правил уборки и режимов хранения и (или) транспортирования
	ХО токсические элементы, нитраты и нитриты, пестициды и т.д.	Несоответствие продукции требованиям нормативной документации (ТР ТС 021/2011, ГОСТ 32790-2014), из-за нарушения агротехники выращивания
2. Инспекция, сортировка, калибровка	БО плесени, микроорганизмы, патогенная микрофлора, паразиты, зоонозные патогены; сельскохозяйственные вредители и отходы их жизнедеятельности	Наличие гниющих, заплесневевших, поврежденных сельскохозяйственными вредителями, клубнеплодов из-за нарушения агротехники выращивания и режимов хранения. Нарушение сроков годности
	ФО почвенные загрязнения; посторонние включения неорганического происхождения (металлопримеси, пластиковые материалы и др.); механические повреждения	Остаточное количество земли на поверхности клубнеплодов, наличие раздавленных и механически поврежденных, запаренных, подмороженных клубней топинамбура из-за несоблюдения правил уборки и режимов хранения. Попадание посторонних предметов, находящихся на теле человека, в карманах; отходы жизнедеятельности человека (волосы, ногти); загрязнения от спецодежды (пуговицы, нитки, кусочки ткани)
3. Мытье	БО микроорганизмы порчи; зоонозные патогены	Попадание дефектных клубней (гнилых, подмороженных, запаренных) после инспекции, наличие погрызов и продуктов жизнедеятельности грызунов, механических повреждений (вмятины, порезы, трещины и пр.)
	ФО - посторонние примеси	Недостаточная очистка от почвенных загрязнений. Неполное удаление посторонних включений (камней, комьев земли, ботвы и пр.). Попадание в продукцию посторонних предметов (пуговицы, волосы и т.д.) при нарушении правил личной гигиены
4. Очистка	БО микроорганизмы	Микробная контаминация клубней при повреждении элементами оборудования (щетками) внутренних слоев топинамбура
	ФО проваривание клубнеплодов	Излишнее разваривание или истирание клубней топинамбура (толщина проваренного подкожного слоя мякоти ткани более 1 мм) в результате слишком жесткого режима обработки, что способствует увеличению количества отходов, а также перекрестному загрязнению от деталей оборудования и проникновению микроорганизмов в глубокие слои обрабатываемого сырья

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ КЛУБНЕЙ ТОПИНАМБУРА

Продолжение таблицы 2 / Continuation of table 2

1	2	3	4
	- механическая	БО микроорганизмы	Микробная контаминация клубней при повреждении элементами оборудования (щетками) поверхностных слоев топинамбура
		ФО абразивный материал; посторонние примеси	Износ терочной поверхности, неудовлетворительное состояние насечки на абразивной поверхности, что приводит к попаданию частиц абразивных поверхностей в структуру клубней. Попадание посторонних примесей (земли, песка и др.) в толщу клубня ввиду нарушения целостности покрывных тканей топинамбура и переизмельчения
	- химическая	ХО остаточное количество щелочных средств	Остаточное количество щелочи после обработки из-за недостаточного ополаскивания проточной водой
5. Хранение		БО микроорганизмы; зоонозные патогены; вирусы; дрожжи и плесени	Нарушение режимов хранения: температура. Нарушение сроков годности при хранении пищевой продукции, в том числе продовольственного сырья. Неудовлетворительное санитарное состояние холодильного оборудования. Перекрестное загрязнение в ходе нарушения товарного соседства
		ФО посторонние включения неорганического (металлопримеси, личные вещи, упаковочные материалы и т.д.) и органического (насекомые, грызуны) происхождения	Нарушение санитарно-гигиенических правил при проведении мойки и дезинфекции складской зоны. Попадание в продукцию при несоблюдении правил личной гигиены. Следы жизнедеятельности вредителей при нарушении проведения мероприятий по борьбе с вредителями. Попадание в продукцию посторонних предметов при несвоевременном обслуживании/ремонте ХО или при хранении в открытом виде в овощехранилищах/кагатах
		ХО остатки моющих и дезинфицирующих средств	Нарушение санитарно-гигиенических правил (режимов мойки) при проведении мойки и дезинфекции, при нарушении технологии приготовления рабочего раствора. Перекрестное загрязнение при несоблюдении правил использования оборудования и инвентаря
6. Используемое оборудование		БО санитарно-показательные микроорганизмы	Несоответствующее санитарное состояние оборудования (неэффективные моющие и дезинфицирующие средства, нарушение технологии или кратности проведения санитарных мероприятий)
		ФО посторонние включения	Попадание посторонних предметов технологического оснащения (мелкие части оборудования: гайки, болты и т. д.), продукты износа машин и оборудования
		ХО ингибирующие вещества; смазочные материалы	Попадание остаточных количеств моющих и дезинфицирующих средств с обработанного оборудования, при несоблюдении правил санитарной обработки оборудования. Попадание технических масел при несоблюдении правил технического обслуживания оборудования
7. Вода		БО микроорганизмы; яйца и личинки гельминтов	Использование воды, несоответствующей требованиям безопасности, предъявляемым к питьевой воде (санитарно-химические, микробиологические, физико-химические и радиологические показатели). Ухудшение качества воды в связи с нарушением замены отработанной воды и длительным нахождением в оборудовании
		ХО токсичные элементы; радионуклиды; минеральные вещества	
8. Инфраструктура и производственная среда		БО зоонозные патогены, сельскохозяйственные вредители и отходы их жизнедеятельности; плесени, дрожжи	Попадание грызунов, насекомых, птиц и отходов их жизнедеятельности; остаточные количества средств для обработки помещений от грызунов и насекомых из-за нарушения программы пест-контроля и санитарной обработки. Воздух как источник микробного загрязнения, плесеней, дрожжей из-за несоблюдения санитарно-гигиенических требований
		ФО - посторонние включения	Попадание посторонних предметов: строительные материалы, краска, элементы технического оснащения из-за несвоевременного технического обслуживания, ремонта

В качестве источников опасностей рассмотрены стадии технологического процесса, инфраструктура и производственная среда, применяемое оборудование, вода. Анализ опасностей проведен исходя из следующих видов: биологические; химические; физические [15]. Установлено, что часто возникающими опасностями являются физические (посторонние примеси различного происхожде-

ния) и биологические (слизеообразующие, спорообразующие бактерии и дрожжи). В результате установления опасностей сформулирована характеристика каждого опасного фактора. По каждому потенциально опасному фактору проведен анализ рисков с учетом возникновения фактора и значимости его последствий. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Анализ (оценка) опасностей в линии очистки топинамбура

Table 3 – Analysis (assessment) of hazards in the Jerusalem artichoke cleaning line

Вид опасности	Опасный фактор	Опасности, связанные с технологическим процессом							Оборудование	Вода	Инфраструктура и производственная среда
		Входной контроль	Инспекция, сортировка и калибровка	Мытье	Очистка			Хранение			
					термическая	механическая	химическая				
Биологическая	Дрожжи и плесени	4	4	4	4	6	4	6	3	0	3
	Зоонозные патогены, с/х вредители и отходы их жизнедеятельности	4	4	2	2	2	2	4	1	0	4
	БГКП (колиформы)	4	4	4	4	6	4	6	3	0	3
	Яйца и личинки гельминтов, паразиты	2	2	2	2	2	2	2	0	2	0
	Вирусы	2	3	4	4	4	4	4	1	0	2
	КМА-ФАНМ/ОМЧ	4	4	4	4	6	4	6	3	2	3
Физическая	Посторонние включения	3	3	2	3	4	4	4	2	0	4
	Почвенные загрязнения	4	4	4	2	2	2	0	2	0	2
	Механические повреждения	3	3	4	4	4	4	3	0	0	3
	Абразивный материал	0	0	0	0	9	0	0	3	0	0
	Проваривание клубнеплодов	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0
Химическая	Остаточное количество моющих и дезинфицирующих средств	2	2	2	4	4	4	4	4	0	4
	Остаточное количество щелочных средств	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0
	Минеральные вещества, нитраты и нитриты, пестициды и т.д.	2	2	2	1	2	2	2	0	2	0
	Токсичные элементы, радионуклиды и пр.	2	2	2	2	2	2	2	0	2	0
	Смазочные материалы	1	1	3	3	3	3	2	3	0	2

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ КЛУБНЕЙ ТОПИНАМБУРА

В ходе оценки и анализа рисков каждого из способов очистки топинамбура установлены критические контрольные точки, включающие следующие опасности:

1) термический способ очистки: физическая опасность – проваривание клубнеплодов и возникновение механических повреждений;

2) механический способ очистки: физическая опасность – механические повреждение и попадание абразивного материала в продукт, а также биологическая опасность – микробиологическая обсемененность клубней топинамбура;

3) химический способ очистки: химическая опасность – остаточные количества щелочных средств.

Анализируя каждый вид опасностей, определены достоинства и недостатки рассматриваемых способов очистки топинамбура:

1) термическая очистка является наименее опасной, так как в процессе тепловой обработки подавляется развитие и рост микроорганизмов, а также уменьшается процент отходов, что дает больший выход готовой продукции и облегчает процесс доочистки;

2) механическая очистка способствует дополнительной обсемененности микроорганизмами с попаданием их во внутренние слои

продукта и дает большой процент отходов, а также присутствует такая трудоемкая технологическая операция, как ручная доочистка;

3) химическая очистка выступает наиболее опасным способом, так как не позволяет в полной мере удалить полностью щелочные средства, а также при взаимодействии химического раствора с клубнеплодом происходит ряд биохимических процессов, вызывающих потемнение клубней при дальнейшем их хранении, что негативно сказывается на товарном виде продукции.

Для установленных опасностей сформулированы предельные значения для каждой ККТ, нахождение в которых свидетельствует о соблюдении установленного уровня безопасности. Следующим этапом была разработка системы мониторинга, позволяющая удостовериться, что ККТ находятся в управляемом состоянии. С этой целью определялись место контроля, метод и периодичность. Для исправления отклонений в случае их возникновения в ККТ предложена система корректирующих действий. В табл. 4 представлен разработанный план управления опасностями (план ХАССП) в линии очистки клубнеплодов топинамбура.

Таблица 4 – План управления опасностями

Table 4 – Hazard Management Plan

Этап	Опасный фактор	Средство управления	Мониторинг			Корректирующие действия
			что	как	когда	
1	2	3	4	5	6	7
Термическая очистка						
Обработка паром	Ф – проваривание клубнеплодов	Строгое соблюдение параметров и времени тепловой обработки. Проведение обработки под высоким давлением с сокращением продолжительности процесса	Давление, температура Глубина и степень размягчения под кожного слоя клубнеплода (не более 1 мм)	Манометр Пенетрометр	В течение всего процесса По завершении процесса	Откорректировать режимы обработки в соответствии с технологической документацией. Своевременное ТО оборудования, настройка панели управления Провести оценку качества: 1) в случае недостаточной проваренности клубнеплодов – продолжить тепловую обработку; 2) в случае излишнего разваривания – утилизировать

Продолжение таблицы 4 / Continuation of table 4

1	2	3	4	5	6	7
Щелочная обработка	ХО – остаточное количество щелочных средств	Регулировка и контроль температуры и концентрации раствора щелочи	Температура (90–95 °С) и концентрация (6–12 %) раствора щелочи	Термометр Лабораторный контроль или экспресс-тестирование концентрации рабочего раствора	В течение всего процесса	Оценка качества топинамбура: при нанесении на поверхностный слой топинамбура капли фенолфталеина и появление малинового окрашивания – повторное ополаскивание водой. В случае несоответствия концентрации рабочего раствора – провести соответствующую корректировку
Механическая очистка	ФО – абразивный материал БО – микро-организмы	Контроль состояния насечки на абразивной поверхности. По мере износа (затупления) терочную поверхность необходимо восстанавливать. Регулярное проведение ТО оборудования. Контроль загрузки машины (заполнение цилиндра примерно на 3/4 его объема). Контроль за санитарным состоянием используемого оборудования и сроков годности сырья	Состояние абразивной поверхности Объем загрузки оборудования (≤3/4 его объема) Время обработки	Визуальный контроль	До начала процесса В процессе	При выявлении дефектов абразивного материала – провести замену рабочего органа. При выявлении неудовлетворительного санитарного состояния оборудования – провести мероприятия по санитарной обработке. Внести корректировки в ПОПМ, увеличив кратность проведения санитарных мероприятий
Хранение	БО – микро-организмы	Соблюдение способов упаковки, температурных режимов хранения очищенных полуфабрикатов, сроков годности, товарного соседства, санитарного состояния оборудования	Температура Срок годности Товарное соседство Санитарное состояние ХО	Термометр Визуальный контроль	В процессе	В случае отклонения температурного режима ХО – провести оценку качества: А) при удовлетворительном результате – переместить продукцию в другой холодильник соблюдением товарного соседства; Б) при неудовлетворительном результате – утилизировать. Провести ТО и ремонт ХО, поверку и калибровку средств измерений. Наличие контрольного термометра

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведя анализ устойчивости технологии очистки клубней топинамбура, выделены две критические контрольные точки, возникающие на стадиях очистки с использованием различных способов очистки (ККТ-1), и последующего хранения (ККТ-2).

Метод очистки, основанный на кратковременной паротермической обработке и резком сбросе давления, в ряде исследований [13] зарекомендовал себя эффективным. В этом случае обеспечивается очистка за счет срыва тонкой пленки кожицы по всей поверхности клубней, включая такие труднодоступные места, как углубления, впадины, трещины, бугорки и пр. Тепловая обработка (бланширование) способствует подавлению роста микроорганизмов, вызывающих порчу продукта, и инактивирует ферменты, обуславливающие потемнение. Термическая очистка топинамбура включает в себя такую физическую опасность, как излишнее проваривание клубнеплодов, оцененную в 6 баллов. Строгое соблюдение параметров и времени тепловой обработки позволяет сделать данную технологию наиболее устойчивой.

Промытое сырье в традиционных технологиях очищается вращающимися абразивными барабанами или же ножами для удаления оболочек [14]. В этом случае потери составляют до 30 % от массы клубней. При обрезке возможен рост микроорганизмов и вторичное загрязнение сырья. Немаловажным фактором является возможность попадания абразивных частиц рабочих органов очистительных машин в структуру клубней. Механические способы очистки приводят к повышенному отделению клеточного экссудата, проявлению ферментативных процессов, что вызывает потемнение очищенных клубнеплодов и соответственно придание темной окраски высушенному полуфабрикату [14]. При использовании механического способа очистки во избежание попадания посторонних примесей и абразивного материала в толщу клубня необходимым средством управления является визуальный контроль состояния абразивной поверхности и объема загрузки оборудования, а также длительность обработки. Рассчитав фактор опасности как произведение значений вероятности возникновения и тяжести последствий, данная опасность была оценена на 9 баллов. С целью минимизации возникновения риска микробной контаминации сырья, оцененного на 6 баллов, при повреждении элементами обо-

рудования предупреждающим действием является их тщательная санитарная обработка.

Химическая очистка подразумевает взаимодействие химического раствора с клубнеплодом. В результате ряда биохимических процессов происходит расщепление внешних слоев клубней. При применении химического способа очистки возникает опасность наличия на обрабатываемой поверхности остаточного количества щелочи, имеющая самые высокие значения и оцененная в 12 баллов. В качестве управляющего воздействия предложены регулировка и контроль температуры, концентрации раствора щелочи с использованием автоматических систем измерения и контроля, а также лабораторный контроль или экспресс-тестирование концентрации рабочего раствора. Предусмотренный технологией этап последующего ополаскивания с визуальным контролем не обеспечивает в полной мере исключения опасности. В связи с изложенным сделан вывод, что химический способ очистки является наиболее опасным и неустойчивым.

Исходя из анализа разработанного плана управления опасностями выявлены технологические операции, требующие контроля, программа обязательных предварительных мероприятий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С целью выявления устойчивой технологии очистки клубней топинамбура проведен анализ последовательности выполняемых технологических операций. Установлено, что критическими контрольными точками в линии первичной обработки топинамбура являются очистка и последующее хранение.

1. Изучены термический, механический и химический способы очистки топинамбура от покрывных тканей. Идентифицированы опасности при использовании способов очистки по биологическому, физическому и химическому видам.

2. Рассчитаны факторы опасностей для различных способов очистки. Для химического способа установлена опасность наличия остаточного количества щелочи, которая оценена в 12 баллов. Для механической очистки физическая опасность (попадание посторонних примесей и абразивного материала в толщу клубня) и биологическая опасность (микробная контаминация клубней при повреждении элементами оборудования) оценена 9 и 12 баллами. Для термического способа физическая опасность при проваривании клубнеплодов и механических повреждениях установлена в 6 баллов.

3. Получено, что наиболее устойчивым является термический способ очистки. Выявлены технологические операции, требующие контроля, и предложена программа обязательных предварительных мероприятий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Li W., Zhang J., Yu C., Li Q., Dong F., Wang G., Gu G., Guo Z. (2015). Extraction, degree of polymerization determination and prebiotic effect evaluation of inulin from Jerusalem artichoke. *Carbohydrate Polymers*, 121, 315–319. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.12.055>.

2. Wan X., Guo H., Liang Y., Zhou C., Liu Z., Li K., Niu F., Zhai X., Wang L. (2020). The physiological functions and pharmaceutical applications of inulin: A review. *Carbohydrate Polymers*, 246, 116589. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116589>.

3. Технологический потенциал продуктов глубокой переработки клубней топинамбура / Р.А. Дроздов, М.А. Кожухова, Т.В. Бархатова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2019. № 5–6 (371-372). С. 23–26. DOI 10.26297/0579-3009.2019.5-6.5. EDNPKKPEZ.

4. Mensink M.A., Frijlink H.W., Van Der Voort MK and Hinrichs WLJ, Inulin, a flexible oligosaccharide I: review of its physicochemical characteristics. *Carbohydr Polym* 130:405–419 (2015).

5. Манохина А.А. Механизация уборки топинамбура // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования "Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина". 2017. № 2(78). С. 15–20. EDN YRHSEJ.

6. Макарова А.А., Пасько О.В. Формирование системы менеджмента безопасности с использованием цифровых технологий при производстве аналоговых мясных полуфабрикатов // Пищевая промышленность. 2020. № 3. С. 34–38.

7. Expected Outcomes for Certification to ISO 22000, a Food Safety Management System (FSMS) (1 ed.). International Organization for Standardization. 2022.

8. Chen H., Liu S., Chen Y. Food safety management systems based on ISO 22000:2018 methodology of hazard analysis compared to ISO 22000:2005. *Accred Qual Assur* 25, 23–37 (2020).

9. ГОСТ Р ИСО 22000-2019 Система менеджмента пищевой безопасности. Требования к любой организации, участвующей в цепи создания пищевой продукции. Введ. 2018-06-01. – М.: Стандартинформ, 2019. 47 с.

10. ГОСТ Р 51705.1-2001. Системы качества. Управление качеством пищевых продуктов на основе принципов ХАССП. Общие требования. – Москва: Стандартинформ, 2009. 12 с.

11. Гаспарян И.Н., Трухачев В.И., Сычев В.Г., Мельников А.В., Горохов С.А. Основы агрономии. Учебник для СПО. – М.: Лань, 2023. 496 с.

12. Allayarov J. Современные технологии послеуборочной доработки клубней топинамбура // Science and innovation. 2022. Т. 1. № D8. С. 901–905.

13. Абдурахимова А.У., Бабатулаев Б.Б.

К вопросу разделения кожицы топинамбура от мякоти // *Universum: технические науки*. 2020. № 11–2 (80). С. 5–8.

14. Старовойтов В.И., Старовойтова О.А., Манохина А.А. Методика проведения исследований по культуре топинамбура. *Агроинженерия*. 2018; (1):7–14.

Информация об авторах

И. А. Бакин – доктор технических наук, профессор кафедры «Процессов и аппаратов перерабатывающих производств» Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева.

А. А. Макарова – кандидат технических наук, ассистент кафедры «Процессов и аппаратов перерабатывающих производств» Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева.

Ш. В. Гаспарян – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологии хранения и переработки плодоовощной и растениеводческой продукции» Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А. Тимирязева.

REFERENCES

1. Li, W., Zhang, J., Yu, C., Li, Q., Dong, F., Wang, G., Gu, G. & Guo, Z. (2015). Extraction, degree of polymerization determination and prebiotic effect evaluation of inulin from Jerusalem artichoke. *Carbohydrate Polymers*, (121), 315-319. doi: org/10.1016/j.carbpol.2014.12.055.

2. Wan, X., Guo, H., Liang, Y., Zhou, C., Liu, Z., Li, K., Niu, F., Zhai, X., Wang, L. (2020). The physiological functions and pharmaceutical applications of inulin: A review. *Carbohydrate Polymers*, (246), 116589. Doi : org : org/10.1016/j.carbpol.2020.116589.

3. Drozdov, R.A., Kozhukhova, M.A., Barkhatova, T.V., Khripko, I.A., Drozdova, T.A. (2019). Technological potential of products of deep processing of jerusalem artichoke. *Izvestiya vuzov. Food technology*. (5-6), 371-372. 23-26. DOI: 10.26297/0579-3009.2019.5-6.5.

4. Mensink, M.A., Frijlink, H.W., Van Der Voort, M.K., Hinrichs, W.L.J. (2015). Inulin, a flexible oligosaccharide I: review of its physicochemical characteristics. *Carbohydrate Polymers*, (130), 405-419. DOI: 10.1016/j.carbpol.2015.05.026.

5. Manokhina, A.A. (2017). Mechanization of jerusalem artichoke harvesting. *Vestnik of federal state educational establishment of higher professional education "Moscow state agroengineering university named after V.P. Goryachkin"*. (2), 15-20.

6. Makarova, A.A., Pasko, O.V. (2020). The formation of a security management system using digital technology in the production of analog meat semi-finished products. *Food industry*, (3), 34-38.

7. Expected Outcomes for Certification to ISO 22000, a Food Safety Management System (FSMS). (2022). International Organization for Standardization.

8. Chen, H., Liu, S., Chen, Y. (2020). Food safe-

ty management systems based on ISO 22000:2018 methodology of hazard analysis compared to ISO 22000:2005. Accreditation and Quality Assurance, (25), 23-37. DOI: 10.1007/s00769-019-01409-4.

9. Food safety management systems. Requirements for any organization in the food chain. GOST R ISO 22000-2019. from 1 Jun. 2018. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).

10. Quality systems. HACCP principles for food products quality management. General requirements. GOST R 51705.1-2001. from 1 May. 2009. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).

11. Gasparyan, I.N., Trukhachev, V.I., Sychev, V.G., Melnikov, A.V., Gorokhov, S.A. (2023). Основы агрономии : учебник. Moscow : Lan. (In Russ.). ISBN 978-5-507-46100-4.

12. Allayarov, J., Ochilov, M., Kuzieva, G., Buronova, D. (2022). Modern technologies of post-harvest refinement of jerusalem artichoke tubers. Science and innovation, (1), 901-905. doi: 10.5281/zenodo.7443284.

13. Abdurakhimova, A.U., Babatulaev, B.B. (2020). On the issue of separating the jerusalem artichoke peel from the pulp. Universum: Technical Sciences. (11-2), 5-8.

14. Starovoitov, V.I., Starovoitova, O.A., Manokhina, A.A. (2018). Methodology of doing research on jerusalem artichoke crops. Vestnik of federal state educational establishment of higher professional education "Moscow state agroengineering university named after V.P. Goryachkin". (1), 7-14.

Information about the authors

I.A. Bakin - Doctor of Technical Science, Professor of the Department of «Processes and Equipment of Processing Productions» Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy.

A.A. Makarova - Candidate of Technical Sciences, Assistant of the Department of «Processes and Equipment of Processing Productions» Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy.

Sh. Gasparyan - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of «Storage and Processing of Horticultural and Plant Products», Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare that there is no conflict of interest.*

Статья поступила в редакцию 28.03.2023; одобрена после рецензирования 13.08.2023; принята к публикации 11.09.2023.

The article was received by the editorial board on 28 Mar 2023; approved after editing on 13 Aug 2023; accepted for publication on 11 Sep 2023.