

УДК 547.458.6

Совершенствование технологии изготовления пищевых добавок, крахмалов и крахмалопродуктов с использованием инфракрасного излучения

К. В. Шешнев, А. А. Мартынов*, Е. А. Селезнева, О. В. Буханцев

*ООО "Специо", г. Волгоград, Россия;

e-mail: martynov.a@spezio.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2485-7792>

Информация о статье Реферат

Поступила в редакцию 04.06.2024;

получена после доработки 09.07.2024;

принята к публикации 19.07.2024

Ключевые слова:

крахмалопродукты, мальтодекстрин, пищевые добавки, вкус, аромат, инфракрасная обработка, декстрозный эквивалент, гранулометрический состав

В работе рассматриваются проблемы физической модификации крахмалопродуктов и других пищевых ингредиентов. Описаны основные тенденции и направления инновационной деятельности, характерные для ингредиентного рынка. В результате проведенных экспериментов разработан метод модификации крахмалов, крахмалопродуктов и добавок пищевых комплексных для улучшения их микробиологических, физико-химических и органолептических характеристик. Доказано, что при воздействии инфракрасного излучения с длиной волны 7–10 мкм на слой продукта толщиной 1 см в течение 1 мин количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов в таком продукте снижается до нулевого значения. При этом массовая доля редуцирующих веществ вследствие такой обработки увеличивается более чем в два раза, что свидетельствует о протекании процесса декстринизации. Допускается обработка как крахмалопродуктов, выполняющих роль носителей в составе комплексных смесей, так и готовых добавок после завершения процесса перемешивания. Массовая доля влаги в процессе инфракрасной обработки уменьшается менее чем на 1 % для мальтодекстринов и менее чем на 2 % для добавок пищевых комплексных, что характеризует возникающие технологические потери как допустимые. Изменение гранулометрического состава комплексных добавок под воздействием инфракрасного излучения улучшает сыпучесть продукта, повышает равномерность распределения вкусоароматических веществ по поверхности носителя, что в свою очередь обеспечивает возможность снижения дозировки комплексных добавок при изготовлении мясных и кондитерских продуктов. На основе полученных результатов разработаны и описаны технологические диаграммы, показывающие поэтапно производственный процесс с указанием всех значимых параметров.

Для цитирования

Шешнев К. В. и др. Совершенствование технологии изготовления пищевых добавок, крахмалов и крахмалопродуктов с использованием инфракрасного излучения. Вестник МГТУ. 2024. Т. 27, № 3. С. 328–342. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-328-342>.

Improving the technology for manufacturing food additives, starches and starch products using infrared radiation

Kirill V. Sheshnev, Anton A. Martynov*, Ekaterina A. Selezneva, Oleg V. Buhancev

*ООО "Специо", Volgograd, Russia;

e-mail: martynov.a@spezio.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2485-7792>

Article info

Received 04.06.2024;

received in revised form 09.07.2024;

accepted 19.07.2024

Abstract

The paper considers the problems of physical modification of starch products and other food ingredients. The main trends and directions of innovative activity characteristic of the ingredient market have been described. As a result of the experiments, a method for modifying starches, starch products and complex food additives has been developed to improve their microbiological, physicochemical and organoleptic characteristics. It has been proven that when exposed to infrared radiation with a wavelength of 7–10 microns on a layer of a product 1 cm thick for 1 minute, the number of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms in such a product is reduced to zero. At the same time, the mass fraction of reducing substances as a result of such treatment more than doubles, which indicates the occurrence of the dextrinization process. It is possible to process both starch products that act as carriers in complex mixtures and ready-made additives after completion of the mixing process. The mass fraction of moisture during infrared processing decreases by less than 1 % for maltodextrins and by less than 2 % for complex food additives, which characterizes the resulting technological losses as acceptable. Changing the granulometric composition of complex additives under the influence of infrared radiation improves the flowability of the product, increases the uniformity of distribution of flavoring substances over the surface of the carrier, which in turn makes it possible to reduce the dosage of complex additives in the manufacture of meat and confectionery products. Based on the results obtained, technological diagrams have been developed and described showing the production process step by step, indicating all significant parameters.

Key words:

starch products, maltodextrin, food additives, taste, aroma, infrared treatment, dextrose equivalent, particle size distribution

For citation

Sheshnev, K. V. et al. 2024. Improving the technology for manufacturing food additives, starches and starch products using infrared radiation. *Vestnik of MSTU*, 27(3), pp. 328–342. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2024-27-3-328-342>.

Введение

Пищевая индустрия является одним из наиболее устойчивых и стремительно развивающихся сегментов экономики. В 2022 г. глобальная выручка в этом секторе достигала 8,66 трлн долларов. По прогнозам экспертов, к 2027 г. совокупный среднегодовой темп роста составит 6,72 % (*Шешнев и др., 2022; Park et al., 2021*).

Российский рынок продуктов питания на данный момент оценивается в 20 трлн рублей, из которых 625 млрд рублей приходится на онлайн-продажи. Расходы производителей на сырье и вспомогательные материалы составляют 3 трлн рублей. Объем рынка пищевых ингредиентов в России превышает 3 млрд долларов.

В последние годы отечественный ингредиентный рынок доказал свою устойчивость и способность адаптироваться к экономическим изменениям. Уход зарубежных поставщиков и усложнение логистики при импортных закупках способствовали развитию российского производства. Пятнадцать лет назад доля импорта составляла 95 %, но благодаря развитию отечественной промышленности этот показатель снизился, и ингредиентный сектор пищевой промышленности продолжает расти на 5–7 % в год. На рынок вышли новые малые и средние компании, предлагающие уникальные и специализированные продукты, отличающиеся от классических решений крупных производителей. Однако порог входа в этот сегмент рынка остается высоким, поскольку производство пищевых ингредиентов требует специалистов с высокой квалификацией и глубокими знаниями в областях пищевой химии, технологии пищевых производств и биотехнологии (*Куракин и др., 2021; Тихомирова, 2020*).

Современные тенденции в области ингредиентов связаны со здоровым питанием, концепцией "чистой этикетки" и глубокой переработкой растительного сырья и вторичных сырьевых ресурсов (*Голубев и др., 2020; Kingsley, 2018*). Государственная программа развития сельского хозяйства в России до 2030 г. предусматривает поддержку научных исследований и разработок в сфере пищевой и перерабатывающей промышленности. Приоритетные направления включают производство функциональных продуктов питания и разработку методов биопреобразования и глубокой переработки растительных культур (*Горлов и др., 2018*). Инновационные подходы и технологии играют ключевую роль в производстве конкурентоспособных пищевых продуктов.

Анализ технико-экономических аспектов ингредиентной отрасли показывает, что для поддержания конкурентоспособности отечественные предприятия должны руководствоваться в своей деятельности следующими принципами:

- 1) активное взаимодействие с российскими вузами и научно-исследовательскими учреждениями, включая разработку методов производства, составов добавок и рецептур продуктов с их использованием;
- 2) адаптация зарубежных технологий к переработке регионального сырья, существующим энергоресурсам, инфраструктуре и логистике (*Довгоцько и др., 2021*);
- 3) внедрение современных методов обработки, таких как экструзия, баромембранные процессы (БМП), ультразвуковая (УЗ), микроволновая (СВЧ) и инфракрасная (ИК) обработка, а также создание универсальных и гибких производственных линий на их основе;
- 4) применение специализированных технологий для продления срока хранения продуктов без потери их качества.

Существенная технологическая проблема рассматриваемого рыночного сегмента заключается в том, что производители применяют технологию изготовления пищевых добавок, основанную на смешивании компонентов по утвержденным рецептам без дополнительной обработки, влияющей на органолептические и функциональные качества продукта. В результате остаются актуальными задачи повышения сыпучести, растворимости и сроков годности добавок, а также снижения их слеживаемости. Дозировка вкусоароматических добавок, необходимая для достижения технологических целей, остается высокой (*Андреев и др., 2017; Апалькова и др., 2020*).

Использование инфракрасного излучения при производстве комплексных пищевых добавок имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционными способами обработки (*Алтухов и др., 2021; Шариков и др., 2020*). Инфракрасное излучение обеспечивает регулируемое и целенаправленное изменение качественных характеристик обрабатываемого сырья. При этом изменяются его механические и физико-химические свойства. Непродолжительный период обработки способствует сохранению количества микронутриентов в получаемом продукте (*Алексеев и др., 2021; Das et al., 2021; Gong et al., 2022; Los et al., 2022; Öztürk et al., 2021; Semwal et al., 2021; Martynov et al., 2024; Physical..., 2018*).

Особенно актуален вопрос модификации веществ, выступающих носителями в комплексных пищевых добавках, поскольку такие вещества имеют широкую область применения в ингредиентной промышленности (*Юркова, 2021*). Носители используют для растворения, разбавления, равномерного распределения в продукте

и удобства дозирования пищевых добавок. Большое значение имеет их растворимость и дисперсность, что перекликается с основными технологическими проблемами рассматриваемой отрасли. На сегодняшний день популярными носителями являются мальтодекстрин и другие крахмалопродукты.

Цель работы состоит в разработке способа модификации крахмалов, крахмалопродуктов и пищевых добавок, направленного на улучшение их микробиологических, физико-химических и органолептических качеств в соответствии с актуальными тенденциями ингредиентной отрасли. Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- изучить влияние инфракрасной обработки на микробиологические, физико-химические и органолептические показатели обрабатываемых крахмалопродуктов и комплексные пищевые добавки;
- оценить органолептические характеристики готовой пищевой продукции, выработанной с использованием модифицированных инфракрасной обработкой комплексных пищевых добавок;
- разработать технологические диаграммы производства комплексных пищевых добавок, включающие этап обработки инфракрасным излучением, и подготовить их описание.

Материалы и методы

Исследования были выполнены специалистами компании ООО "Специо" в кооперации с научными и образовательными учреждениями. В испытаниях модифицированной продукции участвовали научные работники Волгоградского государственного технического университета (ВолгГТУ), Поволжского научно-исследовательского института мясомолочной промышленности (ГНУ НИИММП) и Всероссийского научно-исследовательского института пищевых добавок (ВНИИПД) – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН.

В качестве объектов исследования были выбраны мальтодекстрин и комплексные пищевые добавки. В ходе модификации использовали инфракрасное излучение, которое генерировалось кварцевыми электронагревателями, представляющими собой кварцевые трубки диаметром 10 мм с резистивной спиралью внутри. Мощность электронагревателей составляла 1 000 Вт.

В инфракрасном спектре у крахмалопродуктов активны ассиметричные валентные колебания связей С–О–С. Наиболее интенсивные колебания для гликозидной связи наблюдаются при волновых числах $1\,310\text{--}1\,000\text{ см}^{-1}$, что соответствует значениям длин волн излучения $7,63\text{--}9,09\text{ мкм}^1$. Энергия поглощения длинноволновых инфракрасных лучей составляет $3 \cdot 10^{-19}$ Дж, что является достаточным значением для обеспечения частичной декстринизации крахмалопродуктов (*Способ...*, 1985).

Использованные нагреватели работали в диапазоне длин волн от 7 до 10 мкм. Заданная длина волны излучения необходима для активации и разрыва $\alpha\text{-(1}\rightarrow\text{6)}$ и $\alpha\text{-(1}\rightarrow\text{4)}$ связей крахмалопродуктов, поскольку в описанных условиях частота колебаний соответствует резонансной (*Рыжкова и др.*, 2018). Этот параметр выгодно отличает используемые кварцевые электронагреватели от традиционно применяемых в промышленности ламп КГТ220-1000, излучающих ближний инфракрасный спектр. Рабочая температура применяемых нагревателей достигалась за 30 с с момента включения.

Для снижения технологических потерь и с учетом отражения от стенок рабочей камеры время обработки было снижено до 3 мин и менее, что значительно меньше по сравнению с традиционно применяемой обработкой в течение 6–20 мин (*Способ...*, 1985). Результативность обработки оценивалась по массовой доле влаги, редуцирующих веществ и КМАФАнМ в обработанных продуктах, органолептическим показателям. Предполагалась стерилизация продукта и повышение его декстрозного эквивалента до значений, соответствующих выбранной области применения, без изменения его цвета или появления постороннего привкуса и запаха.

Разработанная технология модификации крахмалов, крахмалопродуктов и пищевых добавок защищена патентом РФ № 2796675 "Способ модификации вкусоароматических добавок, крахмалов и крахмалопродуктов" (*Способ...*, 2023).

Углеводный состав мальтодекстрина с начальным декстрозным эквивалентом 10 при различной продолжительности экспонирования в рабочей камере с инфракрасным излучением определялся методом ВЭЖХ (высокоэффективная жидкостная хроматография). Микробиологическую обсемененность мальтодекстрина характеризовали показателем КМАФАнМ (количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов), который определяли по ГОСТ 10444.15². Отбор и подготовку проб осуществляли в соответствии со следующими нормативными документами: ГОСТ 33444, ГОСТ 26669, ГОСТ 31904. Массовую долю влаги образцов мальтодекстрина исследовали по методике ГОСТ 15113.4.

¹ Тарасевич Б. Н. ИК спектры основных классов органических соединений. Справочные материалы. Москва : МГУ, 2012. 55 с.

² Информация о нормативных актах и ГОСТах представлена в Приложении.

Результаты проведенных экспериментальных исследований анализировали с применением программного комплекса Microsoft Office.

Для определения гранулометрического состава комплексных пищевых добавок, обработанных инфракрасным излучением, применяли сетки проволочные тканые с квадратными ячейками размером 10, 20 и 50 мкм по ГОСТ 6613. Оценка органолептических качеств готовых пищевых продуктов (Новокишанова и др., 2020), выработанных с использованием модифицированных комплексных пищевых добавок, проводилась по пятибалльной шкале специалистами профильных научных организаций.

Результаты и обсуждение

Механизм влияния инфракрасного излучения на физико-химические и органолептические свойства крахмалопродуктов реализуется следующим образом. Тепловой поток воздействует на полисахариды, составляющие крахмальные гранулы, – амилозу и амилопектин. Под воздействием теплового потока инфракрасных лучей протекает процесс декстринизации (рис. 1).

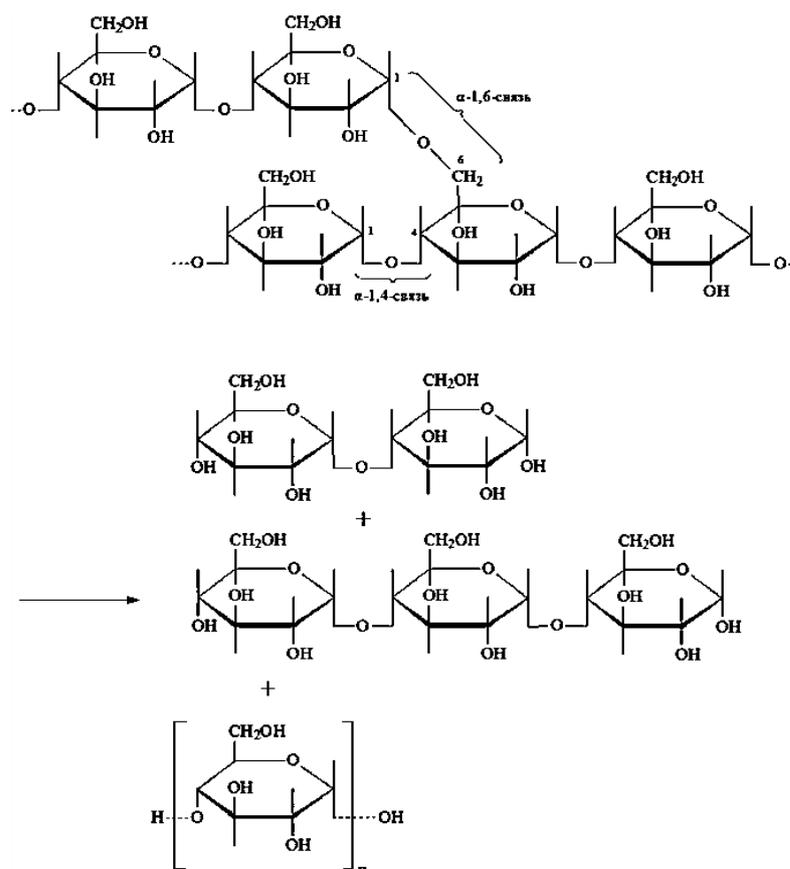


Рис. 1. Молекулярные изменения при декстринизации под воздействием инфракрасного излучения
Fig. 1. Molecular changes during dextrinization under the influence of infrared radiation

В результате уменьшения длины полимерных цепей с α -(1 \rightarrow 4) связью образуются укороченные полимерные цепи амилозы с глюкопиранозидами с общей формулой ($n = 2-20$). Поскольку пространственная структура амилопектина обуславливает умеренные гидрофильные свойства крахмалопродуктов, изменение соотношения амилопектина и амилозы в пользу последней повышает растворимость.

При нагреве крахмалопродуктов их молекулярная подвижность возрастает, что вызывает частичный распад крахмальных гранул. Уменьшение размера молекул и гранул, особенно характерное для мальтодекстрина, увеличивает его удельную поверхность (Ананских и др., 2017). Увеличение удельной поверхности в свою очередь способствует равномерному распределению олеорезинов и эфирных масел в объеме носителя при подготовке экстрактов в процессе создания комплексных пищевых, в частности, вкусоароматических добавок. Модифицированный мальтодекстрин, подвергнутый частичной декстринизации, обладает высокой сыпучестью, что способствует повышению технологичности производства, упрощает процессы перемешивания сухих ингредиентов и упаковывания готовой продукции, препятствует расслоению компонентов смеси и образованию пыли.

В ходе испытаний мальтодекстрина с декстрозным эквивалентом 10 (DE 10) слоем толщиной 1 см размещали в рабочей камере и обрабатывали инфракрасным излучением длиной волны 7–10 мкм. Продолжительность экспонирования составляла 1, 2 и 3 мин (табл. 1).

Таблица 1. Результаты анализа мальтодекстрина DE 10
Table 1. DE 10 Maltodextrin analysis results

Показатель	Продолжительность инфракрасной обработки, мин			
	0	1	2	3
КМАФАнМ, КОЕ / г	9 000 ± 20	0	0	0
Массовая доля влаги, %	5,8 ± 0,09	5,2 ± 0,08	4,9 ± 0,06	4,6 ± 0,09
Массовая доля редуцирующих веществ в пересчете на сухое вещество, %	12,6 ± 0,04	34,5 ± 0,06	42,2 ± 0,05	46,0 ± 0,04
Высшие сахара, %	93,1 ± 0,05	51,2 ± 0,05	30,1 ± 0,04	20,4 ± 0,08
Триоза, %	4,5 ± 0,07	21,9 ± 0,05	29,6 ± 0,06	32,3 ± 0,07
Мальтоза, %	2,1 ± 0,07	24,4 ± 0,08	36,3 ± 0,08	42,2 ± 0,05
Глюкоза, %	0,3 ± 0,05	2,5 ± 0,06	4,0 ± 0,08	5,1 ± 0,08

Продолжительность обработки, достаточная для стерилизации мальтодекстрина, составляет одну минуту. Более продолжительная обработка способствует более глубокой декстринизации, о чем свидетельствует увеличение содержания редуцирующих веществ с повышением длительности экспонирования. При трехминутной обработке инфракрасным излучением содержание редуцирующих веществ в мальтодекстрине в пересчете на сухое вещество увеличивается на 33,4 % по сравнению с необработанной добавкой. Одновременно с этим, как видно из приведенных хроматограмм (рис. 2–5), уменьшается количество высших сахаров и увеличивается содержание моносахаров. Процесс сопровождается снижением массовой доли влаги мальтодекстринов на 1,2 %, что характеризует возникающие технологические потери как незначительные.

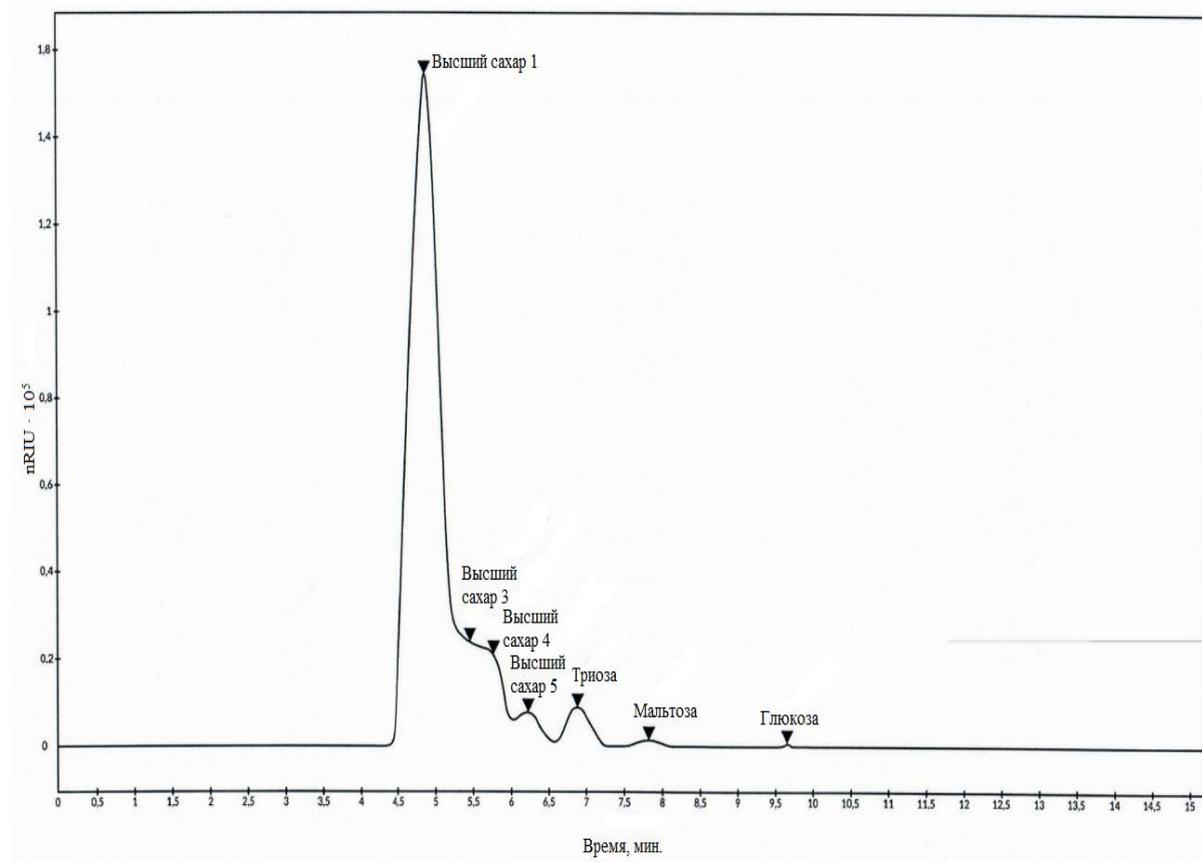


Рис. 2. Хроматограмма образца мальтодекстрина DE 10
Fig. 2. Chromatogram of DE 10 Maltodextrin sample

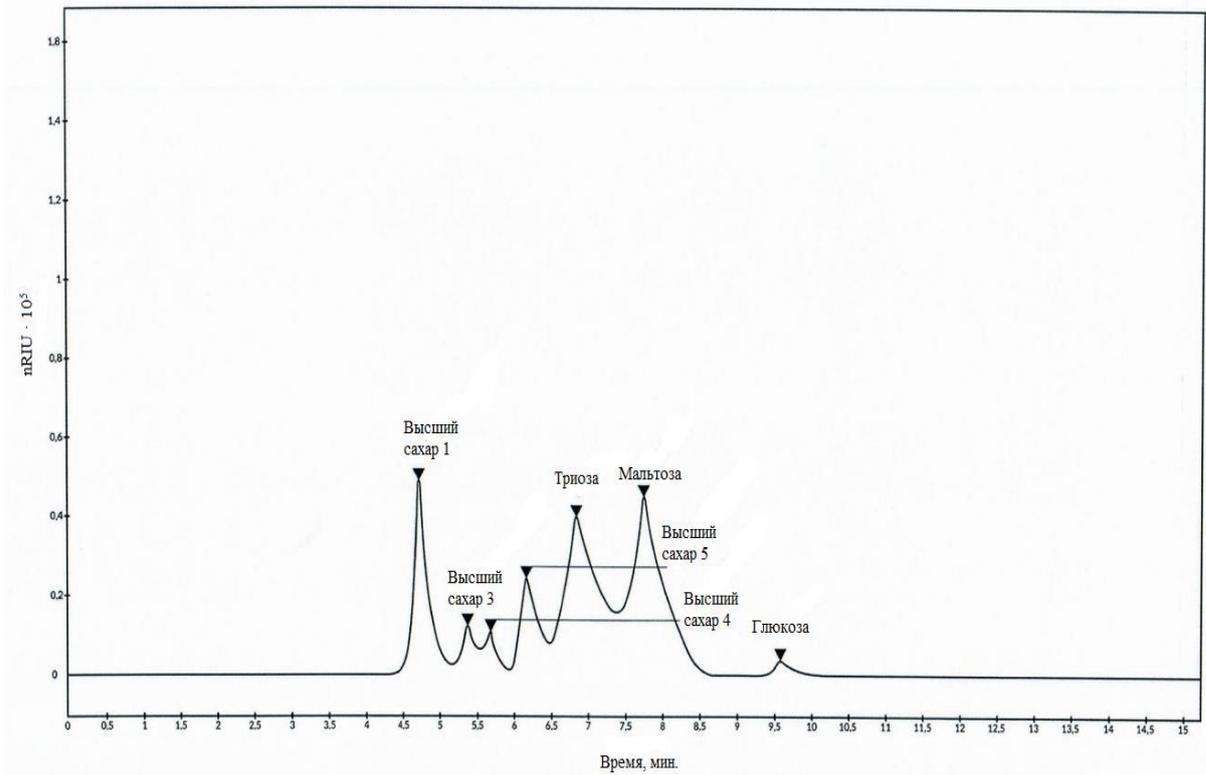


Рис. 3. Хроматограмма образца мальтодекстрина DE 10 при минутной инфракрасной обработке
Fig. 3. Chromatogram of DE 10 Maltodextrin sample under one-minute infrared treatment

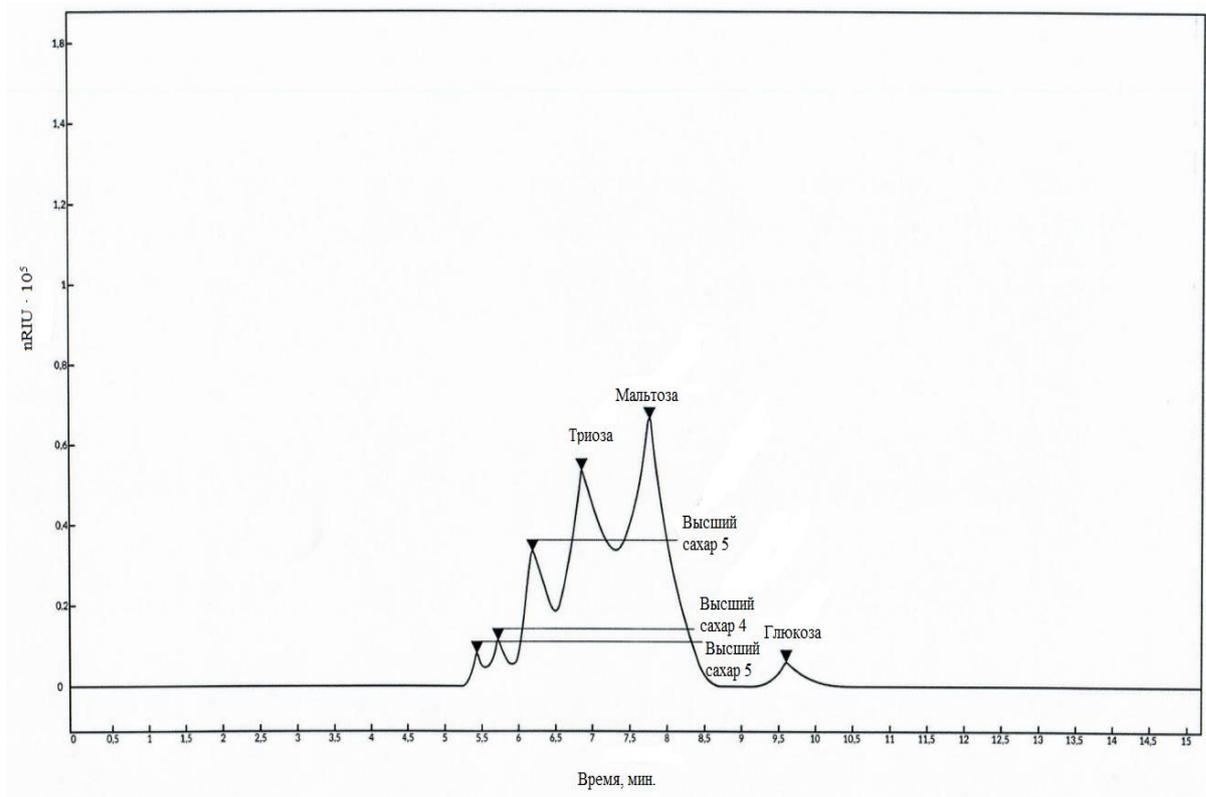


Рис. 4. Хроматограмма образца мальтодекстрина DE 10 при двухминутной инфракрасной обработке
Fig. 4. Chromatogram of DE 10 Maltodextrin sample under two-minute infrared treatment

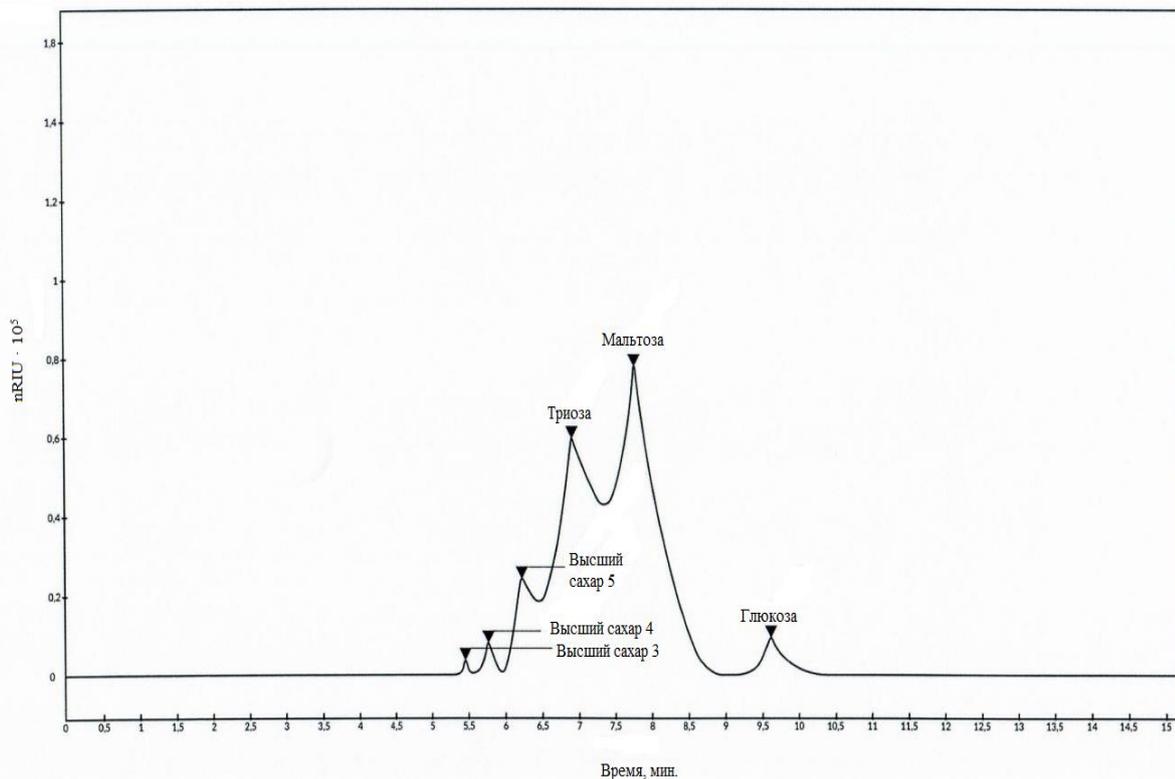


Рис. 5. Хроматограмма образца мальтодекстрина DE 10 при трехминутной инфракрасной обработке
 Fig. 5. Chromatogram of DE 10 Maltodextrin sample under three-minute infrared treatment

Для подтверждения сохранения эффективности инфракрасной обработки в случае применения ее не только к мальтодекстринам, но и к готовым комплексным смесям после завершения процесса перемешивания, проведены сравнительные исследования обработанных и необработанных добавок. Комплексные пищевые добавки "Сладкие сливки" и "Докторская", содержащие в рецептурах 70 и 65 % мальтодекстрина соответственно обрабатывались инфракрасным излучением в течение одной, двух и трех минут (табл. 2). Толщина слоя, обрабатываемого в рабочей камере продукта, составляла 1 см.

Оценка органолептических качеств осуществлялась путем дегустации пирожного со сливками и изделия колбасного вареного "Докторская", изготовленных с использованием добавок "Сладкие сливки" и "Комбимит Докторская" соответственно в количестве 1 кг добавки на 100 кг продукта. Профильная органолептическая оценка осуществлялась научными сотрудниками ВНИИПД.

Подтверждено, что стерилизация комплексных пищевых добавок достигается уже через одну минуту обработки инфракрасным излучением. При этом за указанное время количество редуцирующих сахаров увеличивается более чем в два раза по сравнению с необработанным образцом. Декстринизация под воздействием инфракрасного излучения эффективно протекает как при обработке мальтодекстринов, выступающих носителями в комплексных пищевых добавках, так и при обработке готовых комплексных добавок после завершения процесса перемешивания.

Остаток добавок на сетках проволочных тканых с квадратными ячейками размером 10, 20 и 50 мкм при продолжительности выдерживания одна, две и три минуты снижается на 1–3, 2–4 и 3–6 % соответственно. Гранулометрический состав комплексных пищевых добавок под воздействием инфракрасного излучения изменяется за счет изменения микро- и макроструктуры носителя.

Массовая доля влаги при обработке готовых добавок снижается более значительно, чем при обработке крахмалопродуктов. Трехминутное воздействие инфракрасным излучением сокращает содержание влаги в комплексных пищевых добавках приблизительно в два раза.

Наилучшие показатели вкуса и запаха готовых продуктов, вырабатываемых с использованием модифицированных пищевых добавок, достигаются при минутной обработке инфракрасным излучением. Увеличение продолжительности обработки ведет к возрастанию технологических потерь и ухудшению органолептических показателей. Потери влаги при трехминутной обработке доходят до 4,6 %. Более длительная обработка ведет к потере летучих душистых веществ и термолабильных субстанций.

Таблица 2. Результаты испытаний комплексных пищевых добавок
 Table 2. Test results of complex food additives

Показатель	Наименование комплексной пищевой добавки							
	"Сладкие сливки"				"Комбимит Докторская"			
	0	1	2	3	0	1	2	3
Продолжительность инфракрасной обработки, мин	0	1	2	3	0	1	2	3
Массовая доля влаги, %	9,8 ± 0,07	8,4 ± 0,06	6,3 ± 0,07	5,2 ± 0,09	9,9 ± 0,06	8,0 ± 0,05	6,1 ± 0,06	5,4 ± 0,10
КМАФАнМ, КОЕ / г	2000 ± 20	0	0	0	1000 ± 20	0	0	0
Массовая доля редуцирующих веществ в пересчете на сухое вещество, %	5,2 ± 0,06	10,9 ± 0,06	15,3 ± 0,07	16,9 ± 0,08	5,1 ± 0,05	10,6 ± 0,07	13,8 ± 0,08	15,0 ± 0,06
Остаток на сетке 50 мкм, %	11 ± 0,1	10 ± 0,2	9 ± 0,2	8 ± 0,2	12 ± 0,2	11 ± 0,2	10 ± 0,2	9 ± 0,3
Остаток на сетке 20 мкм, %	50 ± 0,2	48 ± 0,2	46 ± 0,2	44 ± 0,1	50 ± 0,1	48 ± 0,2	48 ± 0,2	46 ± 0,2
Остаток на сетке 10 мкм, %	59 ± 0,2	56 ± 0,3	55 ± 0,1	54 ± 0,1	64 ± 0,1	61 ± 0,2	59 ± 0,1	56 ± 0,3
Вкус продукта, выработанного с использованием добавки, баллы	4,2	5,0	5,0	4,8	4,0	5,0	5,0	4,8
Запах продукта, выработанного с использованием добавки, баллы	4,0	5,0	4,8	4,8	4,0	5,0	5,0	4,8

При нагревании более трех минут в слое толщиной 1 см возможно также протекание процессов рекомбинации полимеров, составляющих крахмалопродукт. Если на ранних этапах инфракрасной обработки протекает деструкция полисахаридов, то затем возрастает степень их ветвления в результате трансглюкозидации и образования продуктов термического разложения. Цвет получаемого на выходе продукта смещается от белого к коричневому, растворимость падает, вязкость растворов увеличивается. Оптимальный для использования мальтодекстрина в качестве носителя декстрозный эквивалент, составляющий 10 единиц, достигается менее, чем за одну минуту обработки.

Таким образом, определено, что наилучшие результаты по микробиологическим, физико-химическим и органолептическим показателям обеспечиваются обработкой крахмалопродуктов или комплексных пищевых добавок инфракрасным излучением в течение одной минуты. На основании анализа полученных данных разработаны две технологические диаграммы производства комплексных пищевых добавок, одна из которых предполагает обработку сырья (рис. 6), вторая – готовой продукции (рис. 7).

Производственный процесс изготовления комплексных пищевых добавок по инновационным технологиям, предполагающим применение инфракрасного излучения, реализуют следующим образом. Сырье принимают партиями. Каждую партию сырья хранят отдельно до получения заключения лаборатории. Хранение сырья осуществляется в чистых, проветриваемых помещениях, защищенных от прямых солнечных лучей, при температуре от 5 до 20 °С и относительной влажности воздуха не более 75 %.

После получения протоколов лабораторных испытаний, выполненных в соответствии с программой производственного контроля, подготавливают комплекты сырья для их последующего перемешивания. Взвешивание каждого ингредиента производят в отдельной таре из химически инертного материала, и количество каждого ингредиента взвешивают на один замес согласно рецептуре.

Укомплектованное сырье просеивают через вибросита. После просеивания сыпучие пищевые ингредиенты перемещаются в смесители, где поэтапно реализуется процесс перемешивания.

В случае изготовления добавок пищевых комплексных, содержащих в составе жидкие ингредиенты, на первом этапе перемешивания осуществляют впрыскивание жидких ингредиентов, таких как эфирные масла и олеорезины.



Рис. 6. Технологическая диаграмма производства добавок пищевых комплексных с этапом обработки носителя инфракрасным излучением

Fig. 6. Technological diagram for the production of complex food additives with the stage of processing the carrier with infrared radiation

В качестве носителей, используемых при подготовке экстрактов на первом этапе перемешивания, используют соль или предварительно подготовленные крахмалопродукты, например, мальтодекстрин. Процесс предварительной подготовки представляет собой обработку крахмалопродуктов в инфракрасном излучении с длиной волны 7–10 мкм слоем 1 см в течение 1 мин.

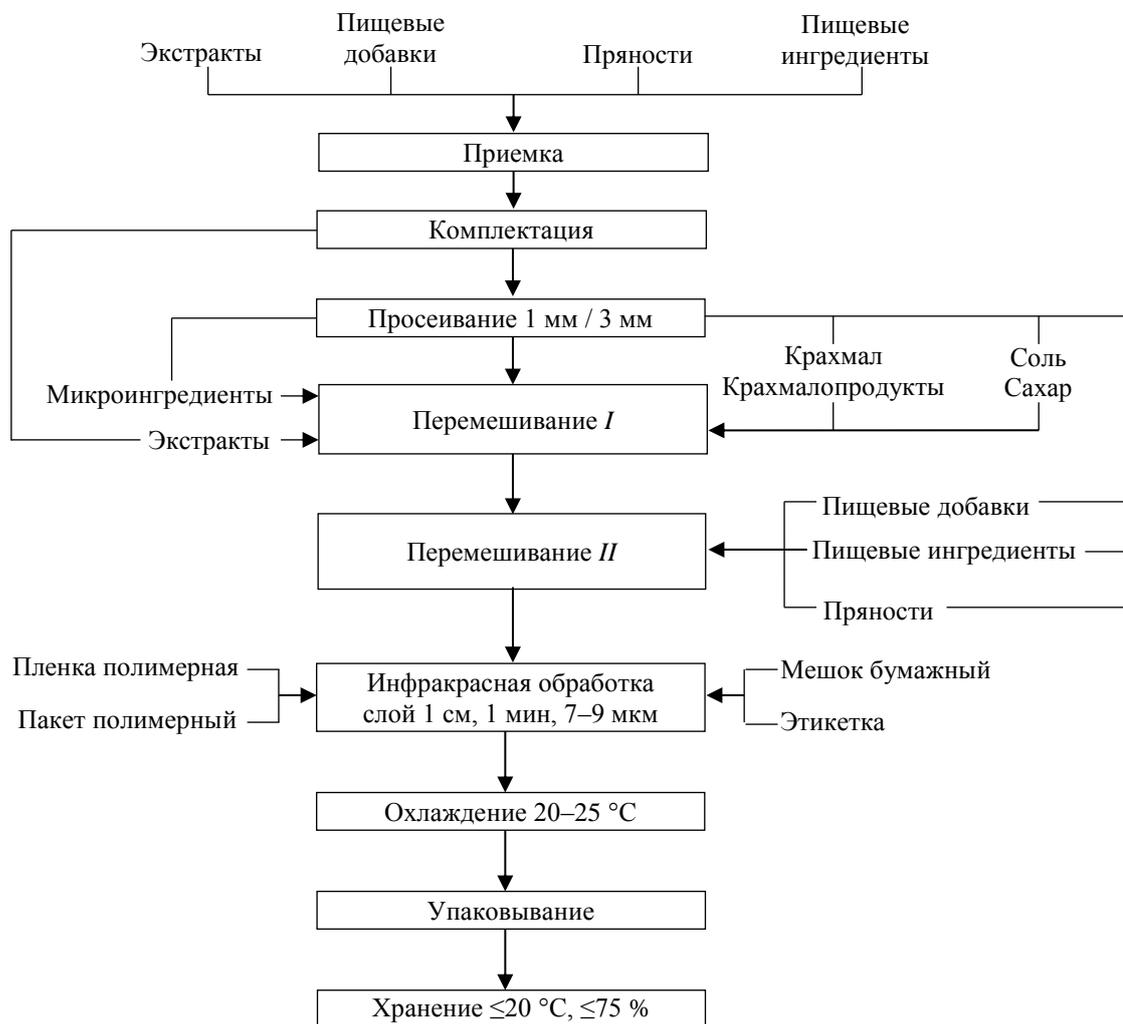


Рис. 7. Технологическая диаграмма производства добавок пищевых комплексных с этапом обработки инфракрасным излучением после перемешивания
Fig. 7. Technological diagram for the production of complex food additives with the stage of processing by infrared radiation after mixing

В результате реализации предварительной подготовки компонентов в соответствии с описанными технологическими параметрами происходит изменение молекулярной структуры крахмалопродуктов, а также повышение их сыпучести и микробиологической чистоты, снижение слеживаемости.

На втором этапе перемешивания к полученному в результате перечисленных выше операций полуфабрикатному продукту добавляют остальные сыпучие ингредиенты в соответствии с рецептурой. Время перемешивания на каждом этапе определяют в зависимости от равномерности распределения ингредиентов.

После перемешивания подготовленные полуфабрикатные продукты передают на упаковывание. Упакованную продукцию хранят при температуре от 5 до 20 °C и относительной влажности воздуха 75 % в течение 12–24 месяцев.

Заключение

В результате выполнения экспериментальных исследований разработан способ модификации крахмалов, крахмалопродуктов и пищевых добавок, направленный на улучшение их микробиологических, физико-химических и органолептических качеств в соответствии с актуальными отраслевыми тенденциями. Изучено влияние инфракрасной обработки на микробиологические, физико-химические и органолептические показатели обрабатываемых крахмалопродуктов и комплексные пищевые добавки. Подтверждено, что при воздействии

кварцевыми электронагревателями с длиной волны 7–10 мкм на слой крахмалов, крахмалопродуктов, добавок пищевых комплексных толщиной 1 см в течение 1 мин достигается стерилизация указанных продуктов. При этом массовая доля влаги снижается менее чем на 1 % в случае обработки мальтодекстринов и менее чем на 2 % в случае обработки готовых смесей, что укладывается в допустимые технологические потери. Массовая доля редуцирующих веществ при такой обработке увеличивается более, чем в два раза, что подтверждает протекание процесса декстринизации. Сопровождающие перечисленные процессы изменение гранулометрического состава комплексных добавок под воздействием инфракрасного излучения способствует повышению сыпучести продукта.

При увеличении продолжительности обработки декстрозный эквивалент становится избыточным для применения мальтодекстринов в качестве носителей в комплексных пищевых добавках. Органолептические показатели готовой продукции, выработанной с использованием в рецептурах добавок, обрабатываемых более двух минут, снижаются. На основании полученных данных разработаны и описаны две технологические диаграммы, поэтапно характеризующие производственный процесс.

Реализуемый проект предполагает обработку крахмалопродуктов с известным декстрозным эквивалентом в смеси с другими компонентами пищевых и вкусоароматических добавок, но не в смеси с другими крахмалопродуктами, что исключает непредсказуемые модификации и обеспечивает получение на выходе из установок мальтодекстринов с известным декстрозным эквивалентом в случае соблюдения рекомендуемых условий обработки.

Разработанные технологии имеют следующие конкурентные преимущества по сравнению с существующими российскими и мировыми аналогами:

1) процесс обработки крахмалов, крахмалопродуктов, добавок пищевых комплексных инфракрасным излучением может реализовываться одностадийно, что снижает его сложность и продолжительность, а также увеличивает технологичность;

2) за счет обработки сырья в твердой фазе исключается энергозатратный и дорогостоящий этап сушки предварительно подготовленной и обработанной суспензии;

3) в противовес традиционно используемым в промышленности инфракрасным лампам с длиной волны 1–2 мкм, подобранная в соответствии с энергиями связей α -(1→4) и α -(1→6) длина волны ИК-излучения 7–10 мкм обеспечивает высокую эффективность обработки, приводя к разрыву указанных связей;

4) поскольку в предложенных технологиях крахмал и крахмалопродукты модифицируются физическим, а не химическим методом, полученный продукт модификации не кодируется индексом "Е" и может использоваться при изготовлении продукции с "чистой этикеткой" в соответствии с текущими потребительскими тенденциями;

5) рассматриваемые изменения происходят как на макро-, так и на молекулярном уровнях, что также повышает эффективность обработки;

б) возможность контролируемого получения при различных условиях обработки мальтодекстринов с различными декстрозными эквивалентами делает технологию универсальной (Школьникова и др., 2021).

На основе разработанной технологии отработаны условия производства более 20 групп добавок пищевых комплексных. Для каждой добавки рекомендованы параметры облучения, обеспечивающие наилучшие органолептические и технологические характеристики каждого продукта. Дальнейшие исследования предполагают расширение ассортимента обрабатываемой продукции, повышение производительности технологических линий, повышение эффективности воздействия за счет комбинации инфракрасного излучения с другими современными методами обработки.

Благодарности

Авторы благодарят коллектив научных сотрудников Волгоградского государственного технического университета (ВолгГТУ) за проведение консультаций по вопросам пищевой химии, Поволжского научно-исследовательского института мясомолочной промышленности (ГНУ НИИММП) и Всероссийского научно-исследовательского института пищевых добавок (ВНИИПД) – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН – за предоставление площадок для проведения экспериментальных исследований.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Алексеев Г. В., Шанин В. А., Леу А. Г., Бирченко А. А. Использование физических воздействий при интенсификации производства крахмалов // Ползуновский вестник. 2021. № 4. С. 115–122. DOI: <https://doi.org/10.25712/astu.2072-8921.2021.04.016>. EDN: CQMDUA.
- Алтухов И. В., Быкова С. М., Свиная А. М. Влияние ИК-излучения на качественные показатели томатного порошка // Вестник КрасГАУ. 2021. № 11(176). С. 205–211. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-11-205-211>. EDN: MZOAQY.

- Ананских В. В., Шлеина Л. Д., Ананских Л. А. Оптимизация параметров получения мальтодекстрина и кормового продукта из кукурузной муки // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31, № 11. С. 91–93. EDN: YMEMRU.
- Андреев Н. Р., Лукин Д. Н., Гольдштейн В. Г. Новые исследования в области химии, технологии и маркетинга крахмала и крахмалопродуктов. О международной конференции "Химия и технология крахмала" г. Детмольд, Германия // Пищевая промышленность. 2017. № 1. С. 25–31. EDN: XXVJKX.
- Апалькова Г. Д., Попова Н. В., Лискунова А. Д. Подходы к формированию рынка пищевых продуктов нового формата // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. Пищевые и биотехнологии. 2020. Т. 8, № 4. С. 5–12. DOI: 10.14529/food200401. EDN: FFPFJH.
- Голубев В. С., Беркович М. И. Здоровое питание: восприятие, динамика, популяризация // Теоретическая экономика. 2020. № 3(63). С. 98–104. EDN: TNGSRM.
- Горлов И. Ф., Мосолова Н. И., Серова О. П., Лопаева Е. А. [и др.]. Инновационная технология переработки молочной сыворотки с использованием модифицированного крахмала // Хранение и переработка сельхозсырья. 2018. № 2. С. 58–61. EDN: UVIZML.
- Довготько Н. А., Андриющенко С. А., Чердниченко О. А., Скиперская Е. В. Опыт Европейского союза по реализации целей устойчивого развития в сельском хозяйстве и возможности его применения в России // Международный сельскохозяйственный журнал. 2021. № 1(379). С. 74–80. EDN: QDYNAT.
- Куракин М. С., Ожерельева А. В., Мотырева О. Г., Крапива Т. В. Новый подход при разработке продукции для предприятий индустрии питания // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51, № 3. С. 434–448. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-434-448>. EDN: ZDZMEX.
- Новокшанова А. Л., Матвеева Н. О., Невский А. А. Взаимосвязь углеводного состава мальтодекстрина и органолептических показателей концентрата творожной сыворотки, полученного нанофильтрацией // Ползуновский вестник. 2020. № 3. С. 39–43. DOI: <https://doi.org/10.25712/astu.2072-8921.2020.03.007>. EDN: VPEWGS.
- Рыжкова В. С., Литвяк В. В., Батын А. Н., Росляков Ю. Ф. [и др.]. Получение и исследование мальтодекстринов // Проблемы развития АПК региона. 2018. № 4(36). С. 190–202. EDN: YRSFBJ.
- Способ модификации вкусоароматических добавок, крахмалов и крахмалопродуктов: пат. 2796675 Рос. Федерация / Шешнев К. В. ; № 2021117175 ; заявл. 12.06.2021 ; опубл. 29.05.2023, Бюл. № 16.
- Способ получения модифицированного окисленного крахмала : пат. 1165683 СССР / Кузнецова И. И., Коваленок В. А., Трегубов Н. Н. ; № 3724563 ; заявл. 13.04.1984, опубл. 07.07.1985.
- Тихомирова В. А. Реализация доктрины продовольственной безопасности России: оценка и перспективы развития // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экономика. 2020. № 4. С. 751–764. DOI: <https://doi.org/10.22363/2313-2329-2020-28-4-751-764>. EDN: REWMPU.
- Шариков А. Ю., Амелякина М. В., Иванов В. В., Поливановская Д. В. Ферментативный гидролиз экструдированного кукурузного крахмала в условиях высокой концентрации среды // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. № 21(4). С. 425–433. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.425-433>. EDN: YHEGTS.
- Шешнев К. В., Мартынов А. А., Сложенкина М. И., Селезнева Е. А. Эффективность использования микроволнового излучения в технологии производства вкусоароматических добавок // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 1(65). С. 319–331. DOI: <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2022-01-31>. EDN: CJTLYZ.
- Школьникова М. Н., Воронова Е. В. Микрокапсулирование полифенолов как способ повышения их биодоступности в составе пищевых систем: обзор современных технологий // Индустрия питания. 2021. Т. 6, № 2. С. 90–98. DOI: <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2021-6-2-11>. EDN: YRZHLLR.
- Юркова А. А. Пищевые добавки в составе популярных продуктов // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2021. № 5–1(56). С. 91–94. DOI: 10.24412/2500-1000-2021-5-1-91-94. EDN: GYVHUW.
- Das A., Sit N. Modification of taro starch and starch nanoparticles by various physical methods and their characterization // Starch – Stärke. 2021. Vol. 73, Iss. 5–6. Article number: 2000227. DOI: <https://doi.org/10.1002/star.202000227>.
- Gong H., Song X., Zhang J., Zhang B. Effects of dry heat treatment on characteristics of hydrophobically modified rice starch and its emulsification in pickering emulsion // Starch – Stärke. 2022. Vol. 74, Iss. 1–2. Article number: 2100131. DOI: <https://doi.org/10.1002/star.202100131>.
- Kingsley M. Clean-label starch innovations are quickly expanding applications for food, beverage formulators // Nutritional Outlook. 2018. Vol. 20, Iss. 10. P. 36–46.
- Los F. G. B., Chezini A., Piroski C. S., Lacerda L. G. Evaluation of physicochemical properties of starch from Brazilian *Carioca* beans (*Phaseolus vulgaris*) // Starch – Stärke. 2022. Vol. 74, Iss. 1–2. Article number: 2000281. DOI: <https://doi.org/10.1002/star.202000281>.
- Martynov A. A., Sheshnev K. V., Selezneva E. A., Bukhantsev O. V. Using microwave radiation in the technology of producing flavor additives // International Research Journal. 2024. Iss. 1(139). DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.100>.

- Öztürk Y. S., Dolaz M. Synthesis and characterization of hydroxyethyl starch from chips wastes under microwave irradiation // *Journal of Polymers and the Environment*. 2021. Vol. 29. P. 948–957. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01935-0>.
- Park S., Kim Y.-R. Clean label starch: Production, physicochemical characteristics, and industrial applications // *Food Science and Biotechnology*. 2021. Vol. 30. P. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10068-020-00834-3>.
- Physical modifications of starch / eds.: Sui Z., Kong X. Springer Singapore, 2018. 174 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-981-13-0725-6>.
- Semwal J., Meera M. S. Infrared radiation: Impact on physicochemical and functional characteristics of grain starch // *Starch – Stärke*. 2021. Vol. 73, Iss. 3–4. Article number: 2000112. DOI: <https://doi.org/10.1002/star.202000112>.

References

- Alekseev, G. V., Shanin, V. A., Leu, A. G., Birchenko, A. A. 2021. The use of physical influences in the intensification of starch production. *Polzunovskiy Vestnik*, 4, pp. 115–122. DOI: <https://doi.org/10.25712/astu.2072-8921.2021.04.016>. EDN: CQMDUA. (In Russ.)
- Altukhov, I. V., Bykova, S. M., Svinareva, A. M. 2021. Influence of IR radiation on the quality indicators of tomato powder. *Bulletin of KSAU*, 11(176), pp. 205–211. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-11-205-211>. EDN: MZOAQY. (In Russ.)
- Ananskikh, V. V., Shleina, L. D., Ananskikh, L. A. 2017. Optimization of parameters for the production of maltodextrin and feed product from corn. *Achievements of Science and Technology in AGRO-Industrial Complex*, 31(11), pp. 91–93. EDN: YMEMRU. (In Russ.)
- Andreev, N. R., Lukin, D. N., Goldstein, V. G. 2017. New research in the field of chemistry, technology and marketing of starch and starch products. On the international conference "Chemistry and technology of starch". *Food Industry*, 1, pp. 25–31. EDN: XXBJKX. (In Russ.)
- Apalkova, G. D., Popova, N. V., Liskunova, A. D. 2020. Approaches to the formation of the food market of a new format. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*, 8(4), pp. 5–12. DOI: [10.14529/food200401](https://doi.org/10.14529/food200401). EDN: FFPFJH. (In Russ.)
- Golubev, V. S., Berkovich, M. I. 2020. Healthy nutrition: Perception, dynamics, popularization. *Theoretical Economics*, 3(63), pp. 98–104. EDN: TNGSRM. (In Russ.)
- Gorlov, I. F., Mosolova, N. I., Serova, O. P., Lopaeva, E. A. 2018. Innovative technology for processing whey using modified starch. *Storage and Processing of Farm Products*, 2, pp. 58–61. EDN: UVIZML. (In Russ.)
- Dovgotko, N. A., Andryushchenko, S. A., Cherednichenko, O. A., Skiperskaya, E. V. 2021. Experience of the European Union on the implementation of sustainable development goals in agriculture and the possibility of its application in Russia. *International Agricultural Journal*, 1(379), pp. 74–80. EDN: QDYNAT. (In Russ.)
- Kurakin, M. S., Ozhereleva, O. V., Motyeva, O. G., Krapiva, T. V. 2021. A new approach to the development of products for food industry enterprises. *Food Processing: Techniques and Technology*, 51(3), pp. 434–448. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-434-448>. EDN: ZDZMEX. (In Russ.)
- Novokshanova, A. L., Matveeva, N. O., Nevsky, A. A. 2020. The relationship between the carbohydrate composition of maltodextrin and the organoleptic characteristics of curd whey concentrate obtained by nanofiltration. *Polzunovskiy Vestnik*, 3, pp. 39–43. DOI: <https://doi.org/10.25712/astu.2072-8921.2020.03.007>. EDN: VPEWGS. (In Russ.)
- Ryzhkova, V. S., Litvyak, V. V., Batyan, A. N., Roslyakov, Yu. F. et al. 2018. Preparation and study of maltodextrins. *Development Problems of Regional Agro-Industrial Complex*, 4(36), pp. 190–202. EDN: YRSFBJ. (In Russ.)
- Sheshnev, K. V. 2023. Method for modifying flavoring additives, starches and starch products, Russian Federation, Pat. 2796675. (In Russ.)
- Kuznetsova, I. I., Kovalenok, V. A., Tregubov, N. N. 1985. Method for producing modified oxidized starch, Russian Federation, Pat. 1165683. (In Russ.)
- Tikhomirova, V. A. 2020. Implementation of the doctrine of food security in Russia: Assessment and development prospects. *RUDN Journal of Economics*, 4, pp. 751–764. DOI: <https://doi.org/10.22363/2313-2329-2020-28-4-751-764>. EDN: REWMPU. (In Russ.)
- Sharikov, A. Yu., Amelyakina, M. V., Ivanov, V. V., Polivanovskaya, D. V. 2020. Enzymatic hydrolysis of extruded corn starch in a highly concentrated environment. *Agricultural Science Euro-North-East*, 21(4), pp. 425–433. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.425-433>. EDN: YHEGTS. (In Russ.)
- Sheshnev, K. V., Martynov, A. A., Slozhenkina, M. I., Selezneva, E. A. 2022. Efficiency of using microwave radiation in the technology of production of flavoring additives. *Proceedings of Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Education*, 1(65), pp. 319–331. DOI: <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2022-01-31>. EDN: CJTLYZ. (In Russ.)

- Shkolnikova, M. N., Voronova, E. V. 2021. Microencapsulation of polyphenols as a way to increase their bioavailability in food systems: A review of modern technologies. *Food Industry*, 6(2), pp. 90–98. DOI: <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2021-6-2-11>. EDN: YRZHLR. (In Russ.)
- Yurkova, A. A. 2021. Food additives in popular products. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, 5–1(56), pp. 91–94. DOI: 10.24412/2500-1000-2021-5-1-91-94. EDN: GYVHUW. (In Russ.)
- Das, A., Sit, N. 2021. Modification of taro starch and starch nanoparticles by various physical methods and their characterization. *Starch – Stärke*, 73(5–6). Article number: 2000227. DOI: <https://doi.org/10.1002/star.202000227>.
- Gong, H., Song, X., Zhang, J., Zhang, B. 2022. Effects of dry heat treatment on characteristics of hydrophobically modified rice starch and its emulsification in pickering emulsion. *Starch – Stärke*, 74(1–2). Article number: 2100131. DOI: <https://doi.org/10.1002/star.202100131>.
- Kingsley, M. 2018. Clean-label starch innovations are quickly expanding applications for food, beverage formulators. *Nutritional Outlook*, 20(10), pp. 36–46.
- Los, F. G. B., Chezini, A., Piroski, C. S., Lacerda, L. G. 2022. Evaluation of physicochemical properties of starch from Brazilian *Carioca* beans (*Phaseolus vulgaris*). *Starch – Stärke*, 74(1–2). Article number: 2000281. DOI: <https://doi.org/10.1002/star.202000281>.
- Martynov, A. A., Sheshnev, K. V., Selezneva, E. A., Bukhantsev, O. V. 2024. Using microwave radiation in the technology of producing flavor additives. *International Research Journal*, 1(139). DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.100>.
- Öztürk, Y. S., Dolaz, M. 2021. Synthesis and characterization of hydroxyethyl starch from chips wastes under microwave irradiation. *Journal of Polymers and the Environment*, 29, pp. 948–957. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10924-020-01935-0>.
- Park, S., Kim, Y.-R. 2021. Clean label starch: Production, physicochemical characteristics, and industrial applications. *Food Science and Biotechnology*, 30, pp. 1–17. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10068-020-00834-3>.
- Physical modifications of starch. Eds.: Sui Z., Kong X. Springer Singapore, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-981-13-0725-6>.
- Semwal, J., Meera, M. S. 2021. Infrared radiation: Impact on physicochemical and functional characteristics of grain starch. *Starch – Stärke*, 73(3–4). Article number: 2000112. DOI: <https://doi.org/10.1002/star.202000112>.

Сведения об авторах

Шешнев Кирилл Вадимович – ул. Краснополянская, 72, г. Волгоград, Россия, 400075;
ООО "Специо", директор;
e-mail: martynov.a@spezio.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7052-7964>

Kirill V. Sheshnev – 72D Krasnopolyanskaya Str., Volgograd, Russia, 400075;
Spezio LLC, Director;
e-mail: hello@spezio.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7052-7964>

Мартынов Антон Андреевич – ул. Краснополянская, 72, г. Волгоград, Россия, 400075;
ООО "Специо", канд. с.-х. наук, технолог;
e-mail: martynov.a@spezio.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2485-7792>

Anton A. Martynov – 72D Krasnopolyanskaya Str., Volgograd, Russia, 400075;
Spezio LLC, Cand. Sci. (Agriculture), Technologist;
e-mail: martynov.a@spezio.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2485-7792>

Селезнева Екатерина Анатольевна – пр. им. В. И. Ленина, 28, г. Волгоград, Россия, 400005;
Волгоградский государственный технический университет, ст. преподаватель;
e-mail: sea@vstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9834-831X>

Ekaterina A. Selezneva – 28 V. I. Lenin Ave., Volgograd, Russia, 400005;
Volgograd State Technical University; Senior Lecturer;
e-mail: sea@vstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9834-831X>

Буханцев Олег Васильевич – пр. Литейный, 55, г. Санкт-Петербург, Россия, 190000;
Всероссийский научно-исследовательский институт пищевых добавок – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, канд. биол. наук;
e-mail: ovbyh@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9337-9897>

Oleg V. Buhancev – 55 Liteiny Ave., St. Petersburg, Russia, 190000; All-Russian Research Institute of Food Additives – branch of the V. M. Gorbатов Federal Scientific Center of Food Systems RAS, Cand. Sci. (Biology);
e-mail: ovbyh@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9337-9897>

Приложение

Нормативные документы, использованные в статье

ГОСТ 10444.15	Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов. Минск, 1995.
ГОСТ 15113.4	Концентраты пищевые. Гравиметрические методы определения массовой доли влаги. М., 2021.
ГОСТ 26669	Продукты пищевые и вкусовые. Подготовка проб для микробиологических анализов. М., 1991.
ГОСТ 31904	Продукты пищевые. Методы отбора проб для микробиологических испытаний. М., 2012.
ГОСТ 33444	Крахмал и крахмалопродукты. Методы отбора проб. М., 2016.
ГОСТ 6613	Сетки проволочные тканые с квадратными ячейками. Технические условия. М, 1998.