

НАУЧНЫЙ ОБЗОР

УДК 330.341.13
DOI 10.17513/fr.43705

ДОСТИЖЕНИЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

¹Бурак Л.Ч., ²Ермошина Т.В., ³Саманкова Н.В.

¹ООО «Белросаква», Минск, e-mail: leonidburak@gmail.com;

²АОЧУ ВО «Московский финансово-юридический университет»,
Москва, e-mail: baricheva@mail.ru;

³Белорусский государственный экономический университет,
Минск, e-mail: samankova@list.ru

Целью данного исследования является обзор и анализ вклада современных технологий обработки пищевых продуктов в устойчивое развитие, включая повышение эффективности производства и качества пищевых продуктов. В обзор включены статьи, опубликованные на английском и русском языках за 2020–2024 гг. Для поиска были использованы базы данных Scopus, Web of Science и Elibrary. Анализ полученных научных данных был подготовлен в соответствии с контрольным списком PRISMA. Новые технологии, такие как омический нагрев, микроволновый нагрев, холодная плазма, импульсные электрические поля и ультразвук, представляют собой перспективные решения, способные снизить энергозатраты, уменьшить количество отходов и улучшить питательные качества пищевых продуктов. Эти технологии, известные как нетепловые, позволяют обрабатывать пищевые продукты при комнатной температуре, сохраняя при этом органолептические показатели и пищевую ценность. Несмотря на очевидные преимущества, внедрение этих технологий в пищевую промышленность сталкивается с рядом препятствий, таких как высокие затраты на оборудование, нормативные ограничения и технологическая сложность. С целью их эффективного использования необходимы дальнейшие исследования и оптимизация, а также экономическая обоснованность и признание потребителями, что требует тесного сотрудничества между академическими кругами, промышленностью и разработчиками технологий. Широкое промышленное внедрение инновационных технологий будет способствовать созданию более устойчивой пищевой системы, снижению углеродного следа, эффективному использованию ресурсов, а также снижению негативных воздействий на окружающую среду и производству качественных и безопасных пищевых продуктов с высокой пищевой ценностью.

Ключевые слова: пищевые продукты, устойчивое развитие, нетермические технологии, обработка, качество, эффективность, отходы

ACHIEVING SUSTAINABLE DEVELOPMENT THROUGH THE USE OF NEW FOOD PROCESSING TECHNOLOGIES

¹Burak L.Ch., ²Ermoshina T.V., ³Samankova N.V.

¹LLC Belrosakva, Minsk, e-mail: leonidburak@gmail.com;

²Moscow University of Finance and Law, Moscow, e-mail: baricheva@mail.ru;

³Belarusian State Economic University, Minsk, e-mail: samankova@list.ru

The purpose of this study is to review and analyze the contribution of modern food processing technologies to sustainable development, including improving the efficiency of production and quality of food products. The review includes articles published in English and Russian for the period 2020–2024. Scopus, Web of Science, and Elibrary databases were used for the search. The analysis of the scientific data obtained was prepared in accordance with the PRISMA checklist. New technologies such as ohmic heating, microwave heating, cold plasma, pulsed electric fields and ultrasound represent promising solutions that can reduce energy costs, reduce waste and improve the nutritional quality of food products. These technologies, known as non-thermal, allow food to be processed at room temperature while maintaining organoleptic properties and nutritional value. Despite the obvious advantages, the implementation of these technologies in the food industry faces a few barriers, such as high equipment costs, regulatory restrictions and technological complexity. To effectively use them, further research and optimization, as well as economic feasibility and consumer acceptance, are required, which requires close collaboration between academia, industry and technology developers. Widespread industrial adoption of innovative technologies will contribute to a more sustainable food system, a lower carbon footprint, efficient use of resources, and reduced negative impacts on the environment, and the production of high-quality, safe and nutritionally valuable food products.

Keywords: food, sustainable development, non-thermal technologies, processing, quality, efficiency, waste

Введение

Традиционные методы обработки пищевых продуктов, такие как консервирование, исторически играли ключевую роль в обеспечении органолептических показателей

качества и микробиологической безопасности пищевых продуктов [1]. Однако в последние годы воздействие данных технологий на экологию стало предметом растущей обеспокоенности, так как эти методы часто связаны с высокими выбросами парнико-

вых газов и образованием значительного количества отходов [2]. Это противоречит современным целям устойчивого развития, которые направлены на сокращение экологического следа и продвижение устойчивых методов производства и потребления [3]. С учетом этих тенденций модернизация пищевой промышленности становится неизбежной. В ряде стран приняты законодательные акты, направленные на повышение эффективности использования ресурсов, сокращение отходов и загрязнения экологии, формирование экономики замкнутого цикла. Примером, который подчеркивает важность проблем устойчивости, является Повестка дня Организации Объединенных Наций (ООН) в области устойчивого развития на период до 2030 г., которая представляет собой амбициозную глобальную программу. Она направляет человечество на устойчивый путь развития, к искоренению нищеты, голода, неравенства и деградации климата, обеспечению улучшенного доступа к образованию и здравоохранению. Это привело к принятию 193 странами – членами Организации Объединенных Наций соглашения, в котором изложены Цели устойчивого развития (ЦУР) ООН на период до 2030 г., или «Глобальные цели». ЦУР должны быть реализованы на всех уровнях для максимального достижения глобальной цели, требуя усилий по сотрудничеству между академическими кругами, промышленностью, правительством и потребителями, как подробно описано в отчете «Времена кризиса, времена перемен: наука для ускорения преобразований в устойчивое развитие». В связи с этим следует отметить, что многие традиционные процессы и способы обработки пищевых продуктов морально устарели, технология производства нуждается в модернизации и обновлении. Например, консервирование пищевого сырья и продуктов переработки широко применяется в пищевой промышленности уже более века и является энергоемким и оказывающим значительное влияние на экологию. Современные технологии обработки, как термические (например, омический, микроволновый и инфракрасный нагрев), так и нетермические (например, холодная плазма, импульсное электрическое поле и ультразвук), предлагают перспективные решения для повышения устойчивости пищевой промышленности [4, 5]. Эти технологии не только позволяют сохранить питательные и органолептические свойства продуктов, но также снижают энергозатраты и минимизируют воздействие на окружающую среду [6, 7]. Нетепловые технологии, такие как ультразвук и импульсное электри-

ческое поле, позволяют обрабатывать пищу при низких температурах, что сохраняет чувствительные к нагреву питательные вещества и улучшает качество продуктов [5–7]. Эти технологии могут быть использованы для различных процессов, включая инактивацию микробов, экстракцию и эмульгирование, что делает их универсальными инструментами в пищевой промышленности [5, 8, 9]. Внедрение этих новых технологий требует совместных усилий между академическими кругами, промышленностью и правительственными структурами для достижения целей устойчивого развития. Необходимо учитывать как технологические, так и экономические аспекты, чтобы обеспечить успешную интеграцию этих технологий в пищевую промышленность. Таким образом, переход к более устойчивым методам обработки продуктов питания не только возможен, но и необходим для обеспечения будущего, соответствующего современным экологическим и социальным стандартам. **Цель данного исследования** – анализ вклада современных технологий обработки пищевых продуктов в устойчивое развитие, включая повышение эффективности производства и качества пищевых продуктов.

Материалы и методы исследования

В обзор включены статьи, опубликованные на английском и русском языках за 2020–2024 гг. Для поиска были использованы базы данных Scopus, Web of Science и Elibrary. Анализ имеющихся научных данных был подготовлен в соответствии с контрольным списком PRISMA. При отборе источников приоритет отдавали оригинальным исследованиям и обзорным статьям за последние три года. Материалом для исследования послужили 32 публикации.

Результаты исследования и их обсуждение

Основной вклад новых технологий в устойчивое развитие

Исследования, разработка и промышленное внедрение современных технологий обработки и хранения пищевых продуктов продиктованы не только желанием существенно повысить качество продукции, но и максимально удовлетворить потребности современного общества, тенденция которого – покупать минимально обработанные продукты с высокой пищевой ценностью, безопасные и с качественными органолептическими показателями. Интерес потребителей к продуктам с минимальной обработкой способствовал развитию нетермических технологий.

Обзор основных способов достижения устойчивого развития за счет использования современных технологий и методы практического внедрения

Основная цель	Способы достижения цели	Методы практического внедрения	Ожидаемая эффективность
Снижение энергоемкости	Сокращение выбросов CO ₂ , парниковых газов	Технологическое развитие: обеспечение масштабируемости и совместимости Экономическая эффективность: баланс первоначальных затрат и долгосрочной экономии энергии Соблюдение нормативных требований: соблюдение нормативных требований, связанных с продуктами питания и энергией	Меньший углеродный след. Снижение производственных затрат
Сокращение отходов	Продление срока годности и сокращение количества бракованной продукции	Оптимизация процесса: корректировка параметров обработки для минимизации дефектов и продления срока годности. Влияние на окружающую среду: Оценка воздействия на окружающую среду сокращения отходов	Увеличенный срок хранения Сокращение затрат на утилизацию отходов Уменьшение порчи продуктов питания
Валоризация отходов	Переработка отходов в ценные продукты	Технологические инновации: разработка эффективных подходов к преобразованию отходов в пищевую продукцию и полуфабрикаты с добавленной стоимостью Экономическая целесообразность: обеспечение рентабельности подхода к валоризации отходов Соблюдение норм и правил безопасности: соблюдение норм в области охраны окружающей среды санитарного- гигиенических норм	Разработка продукции с добавленной стоимостью Уменьшение количества мест захоронения отходов и связанных с этим экологических проблем
Улучшенное питание и качество, продукты с высокой пищевой ценностью	Продовольственная безопасность, хорошее здоровье и благополучие потребителей	Принятие потребителями: информирование потребителей о преимуществах новых технологий Соблюдение нормативных требований к пищевым продуктам Маркетинг: информирование потребителей о пищевой ценности и качестве продуктов питания	Улучшение общественного здравоохранения Более полное удовлетворение запросов современного потребителя Повышение конкурентоспособности выпускаемой пищевой продукции

Современные нетермические технологии способны инактивировать патогены и обеспечить безопасность продукта, при этом максимально сохраняя органолептические показатели свежего продукта, его биологически активные соединения, пищевую ценность, которые заметно изменяются под действием традиционной термической обработки. Замена традиционных тепловых методов обработки пищевых продуктов современными термическими и нетермическими технологиями или их комбинированное использование способствует снижению энергопотребления, сокращению количества отходов и валоризации, а также повышению качества продуктов питания и их пищевой ценности. В таблице представлены основные способы достижения устойчи-

вого развития за счет использования современных технологий и методы достижения этих целей.

Снижение энергопотребления

Сокращение потребления энергии в пищевой промышленности напрямую влияет на количество парниковых газов, выбрасываемых в атмосферу, поскольку энергоснабжение многих отраслей промышленности по-прежнему зависит от ископаемого топлива. Многие современные технологии обработки и консервации являются энергоэффективными и могут снизить воздействие химических веществ на окружающую среду. Так, например, при омическом нагреве используются электрические токи для быстрого, равномерного и объемного нагрева

пищи. По сравнению с обычным нагревом омический нагрев более энергоэффективен, поскольку для него необходимы меньшие время и энергия для достижения требуемой температуры. Эта технология имеет один из самых высоких коэффициентов преобразования энергии (из электрической в тепловую). Кроме того, поскольку тепло генерируется непосредственно в объеме пищи, роль проводимости и обычных способов теплопередачи будет уменьшена, что сократит потери энергии за счет потери тепла системой. Поэтому можно с уверенностью сказать, что омическая обработка пищевых продуктов может снизить выбросы углерода. Например, при пастеризации жидких пищевых продуктов, таких как молоко, омический нагрев (при более низких температурах называемый умеренным электрическим полем) может достичь той же микробной инактивации, что и обычная термическая пастеризация, но с меньшим потреблением энергии [4]. Результаты исследования авторов показывают, что при использовании технологии омического нагрева для пастеризации молока потребление энергии снижается более чем на 90%, а время пастеризации сокращается в два раза [10]. Омический нагрев является альтернативным методом нагрева, с широким потенциалом в пищевой промышленности, для дистилляции воды, переработки отходов, химической переработки и других технологических процессов. Таким образом, он находит широкое применение для пастеризации, стерилизации, сушки, концентрирования и экстракции, не оказывая негативного влияния на биологически активные вещества и органолептические показатели пищевых продуктов [4].

Микроволновой нагрев – современная тепловая технология, являющаяся альтернативой термической пастеризации и эффективным способом обработки пищевых продуктов. В отличие от традиционных методов, микроволны проникают внутрь продукта, вызывая движение молекул воды, что приводит к быстрому и объемному нагреву. Это позволяет значительно сократить время обработки и снизить энергозатраты, что способствует устойчивости и экономической эффективности [6, 11]. Одним из основных преимуществ микроволнового нагрева является сокращение времени термической обработки до 50%, что не только положительно влияет на энергоэффективность, но и способствует сохранению качества готового продукта [2, 5]. Это особенно актуально для таких процессов, как пастеризация и стерилизация, где основной целью является инактивация микроорганизмов при максимальном сохранении

биологически активных веществ и органолептических показателей продукта [2, 12]. Анализируя все преимущества и недостатки технологии микроволнового нагрева, можно сделать вывод, что данная технология является эффективным методом обработки, который способен значительно улучшить эффективность и устойчивость процессов в пищевой промышленности, при этом обеспечивая высокое качество и безопасность продуктов питания. Касательно нетермических технологий, в качестве примера можно привести холодную плазму. Холодная плазма является одной из наиболее перспективных нетепловых технологий в пищевой промышленности благодаря своей способности эффективно дезинфицировать поверхности пищевых продуктов и улучшать материалы для упаковки при низком потреблении энергии. Эта технология использует высокое напряжение при низком электрическом токе, что позволяет значительно сократить энергозатраты по сравнению с традиционным термическим нагревом [2, 13]. Кроме того, холодная плазма может быть использована для улучшения свойств упаковочных материалов, что способствует увеличению срока годности и сохранению свежести продуктов. Реактивные вещества, образуемые в процессе, могут изменять поверхность упаковочных материалов, улучшая их барьерные свойства [14, 15]. Одним из ключевых преимуществ холодной плазмы является ее экологическая устойчивость, так как она не требует больших энергозатрат и не оставляет значительных отходов. Это делает технологию привлекательной для компаний, стремящихся к снижению углеродного следа и переходу на более устойчивые методы производства.

Одним из ключевых преимуществ технологии импульсного электрического поля (ИЭП) является его энергоэффективность. В отличие от традиционных термических методов, которые требуют большого количества энергии для нагрева, ИЭП минимизирует потери энергии, поскольку воздействие на продукт осуществляется непосредственно через электрическое поле. Применение ИЭП в качестве предварительной обработки, например, в процессе сушки позволяет значительно сократить время и энергию, необходимые для удаления влаги из продуктов. Исследователи отметили, что использование ИЭП в таких процессах может привести к значительному снижению потребления энергии [2, 16]. Однако внедрение ИЭП требует тщательной настройки параметров обработки для каждого конкретного типа продукта, а также учета экономических и регуляторных аспектов.

Ультразвук – еще одна нетермическая технология, которая использует высокочастотные звуковые волны для создания кавитационных пузырьков в жидкостях, которые вызывают физическое разрушение микроорганизмов или усиливают экстракцию и ускоряют предстоящие процессы (например, сушку). В недавнем отчете подчеркивается, что экономии энергии можно достичь, если ломтики яблок обработать ультразвуком перед сушкой [17].

Сокращение отходов

Продление срока годности продуктов питания и сокращение количества бракованной продукции напрямую снижает количество отходов, образующихся в цепочке поставок продуктов питания, и в достижении этой цели решающую роль могут сыграть новые технологии. Например, омический нагрев обеспечивает значительное снижение затрат на энергопотребление за счет более эффективного преобразования электроэнергии в тепловую. Это способствует уменьшению эксплуатационных расходов и увеличению производительности за счет сокращения времени обработки [2]. Благодаря точному контролю над процессом снижается риск перегрева и порчи продукции, что минимизирует потери и количество образования отходов производства [18]. Подобно омическому, микроволновый нагрев также может обеспечить быстрый и равномерный нагрев, снижая риск получения недоваренной или неравномерно приготовленной пищи, которую часто выбрасывают, что отрицательно сказывается на себестоимости готовой продукции [19]. Микроволновая обработка позволяет значительно сократить общее время производственного цикла, что, благодаря автоматизации процессов, способствует увеличению объема производства и снижению себестоимости продукции [20]. Гибкость технологии позволяет обрабатывать широкий спектр продуктов без необходимости изменения производственной линии, что не влечет увеличения материальных затрат и повышает экономическую эффективность производства [20]. Результаты многочисленных исследований показывают, что холодная плазма может продлить срок годности продуктов, а увеличение срока годности продуктов способствует существенному снижению образования отходов [21]. Использование холодной плазмы позволяет сократить затраты на вспомогательные материалы, так как нет необходимости в закупке химических консервантов, что способствует снижению себестоимости продукта. Кроме того, обработка холодной плазмой увеличи-

вает срок хранения продукции, что снижает потери из-за порчи готовой продукции, ее возврата из торговой сети и утилизации и в итоге способствует увеличению прибыли. Обеспечение высокого качества готовой продукции за счет эффективности технологии также способствует снижению затрат на утилизацию отходов производства и бракованной продукции. Воздействие импульсного электрического поля также способно продлить срок годности продуктов питания без термического повреждения, уменьшая порчу и количество дефектных продуктов. Среди недавних работ следует отметить исследование, в котором проанализирована роль импульсных электрических полей в молочной промышленности и отмечена их роль в инактивации микроорганизмов при низких температурах, что привело к увеличению срока годности и сокращению пищевых отходов [22]. Обеспечение надлежащего качества, снижение количества продукции несоответствующей нормативным документам и санитарным требованиям, а также увеличение срока годности и объема реализованной продукции позволяет производителю снизить общехозяйственные расходы и повысить эффективность производства пищевых продуктов. В качестве еще одного примера нетермических подходов следует отметить, что в ходе исследований установлена значительная роль ультразвукового воздействия в сокращении отходов. Ультразвуковая обработка может увеличить срок годности продуктов, сократить пищевые отходы и способствовать устойчивому производству продуктов питания [23].

Валоризация отходов

Побочные продукты переработки пищевых продуктов, часто рассматриваемые как отходы, могут быть преобразованы в ценные продукты и способствовать экономике замкнутого цикла за счет снижения воздействия на окружающую среду и увеличения рентабельности. Новые технологии способны эффективно преобразовывать побочные продукты в ценные продукты. Если взять отходы переработки фруктов в качестве примера побочного продукта пищевой промышленности, то возможным подходом к валоризации будет извлечение их ценных соединений (например, пектина) с помощью устойчивого процесса экстракции, который был подробно описан в недавней обзорной статье авторов Chaosuan et al. [24]. В упомянутой выше статье также была описана роль нескольких новых технологий, включая омический нагрев, импульсные электрические поля и холодную

плазму, в валоризации отходов посредством экстракции пектина [25, 26]. Другие новые нетермические технологии, такие как ультразвук, также эффективны при переработке отходов в продукты с высокой пищевой ценностью [27]. В качестве примера эффективности использования нетермических технологий можно привести исследование кофе, который является широко употребляемым напитком, в состав которого входят многие биологически активные соединения [28]. Несмотря на рост потребления кофе, многие исследователи выразили обеспокоенность по поводу устойчивости его производства и снижению пищевой ценности на различных стадиях его производства [29]. Производство кофе является многоэтапным процессом, от методов ведения сельского хозяйства и сбора урожая до ферментации, обжарки и заваривания. Каждый из этих этапов оказывает значительное влияние на устойчивость. Изучение и анализ положительного влияния современных технологий на процессы переработки кофе в итоге может привести к разработке устойчивой технологии его производства на основе современных методов от сбора до поставки готового кофе потребителю. Данные процессы могут включать внедрение новых способов ферментации кофе, с целью получения продукта с высокой пищевой ценностью и без загрязняющих веществ, таких как микотоксины и агрохимикаты [30]. Кроме того, для снижения выброса углекислого газа могут быть внедрены энергосберегающие технологии в процессах обжарки и заваривания. Следует отметить, что для получения минимально обработанных качественных и безопасных продуктов питания эффективно комбинированное применение современных нетермических и термических технологий. Так, например, использование микроволнового нагрева и ультразвуковой экстракции позволило максимально извлечь биологически активные вещества и пигменты из сырья [30]. Использование современных способов обработки и консервирования позволит модернизировать предприятия пищевой промышленности, существенно сократить энергопотребление, расход воды, а также уменьшить количество пищевых отходов, снизить негативное влияние на экологию и будет способствовать выпуску качественных и безопасных продуктов, обладающих высокой пищевой ценностью [2].

Технологические и экономические составляющие

Несмотря на экологические и качественные преимущества, широкомасштаб-

ное внедрение нетермических технологий переработки пищевых продуктов в отрасли является сложной задачей с точки зрения масштабируемости, а также экономической эффективности. С целью масштабного промышленного внедрения современных термических и нетермических технологий обработки пищевых продуктов, обеспечению их эффективности необходимо решить ряд технологических проблем. Это требует комплексного подхода, который включает в себя как научные исследования, так и инженерные разработки. Одно из основных препятствий для широкого промышленного внедрения нетермических технологий – это значительные первоначальные инвестиции, необходимые для приобретения специализированного оборудования и создания инфраструктуры, необходимых для промышленного производства [2, 4]. Для нетермических процессов может потребоваться новое, более сложное оборудование по сравнению с традиционными системами термической обработки, что делает такие аппараты дорогостоящими, особенно для небольших предприятий по производству пищевых продуктов. Обработка холодной плазмой оказывает как благоприятное, так и неблагоприятное воздействие на свойства продукта. Степень влияния на характеристики пищевых продуктов тесно связана с такими факторами, как время воздействия, тип газаносителя, входное напряжение и состав пищевых продуктов. Поэтому в ходе применения необходимо максимально оптимизировать параметры процесса, чтобы избежать неблагоприятного воздействия обработки холодной плазмой на продукты питания, таких как ускоренное окисление липидов, ухудшение органолептических свойств, потеря витаминов, углеводов и некоторых полезных белков. В будущем необходимо проводить более масштабные исследования, с целью максимальной и точной оценки механизма действия между видами холодной плазмы и пищевыми ингредиентами [15]. Эффективность новых технологий также должна быть подтверждена в условиях промышленного производства. Дополнительные исследования необходимы для разработки прототипов и масштабирования для промышленного производства. При наличии правильных инструментов и ресурсов технология холодной плазмы может произвести революцию в пищевой промышленности и обеспечить более эффективный, безопасный и экономичный способ производства продуктов питания [4, 31]. Оптимизация процессов также требует дальнейших исследований и экспериментов, поскольку условия, действующие в лабораторных мас-

штабах, не всегда могут быть применимы в промышленной среде. Для этого необходимо проводить масштабные испытания на пилотных установках и адаптировать процессы в зависимости от конкретных условий и требований промышленного производства. Необходимо установить оптимальные параметры обработки для каждого вида как сырья, так и готового продукта, для обеспечения эффективности и устойчивости производственных процессов [2]. Результаты многих исследований показывают, что для обеспечения максимальной эффективности от внедрения современных технологий требуется междисциплинарный подход, включающий как научное сообщество, так и инженерно-технический персонал пищевой отрасли [32, 33]. Необходимо также отметить, что, хотя новые технологии обработки и хранения пищевой продукции способствуют снижению энергопотребления, повышению качества продукции, первоначальные затраты на оборудование, техническую оснащенность и модернизацию, техническое обслуживание и обучение персонала будут весьма значительными. Поэтому необходимо тщательно оценить окупаемость таких инвестиций, сопоставив первоначальные затраты с эффективностью внедрения и конечными экономическими показателями, а также себестоимостью продукта и его цене для потребителя.

*Принятие потребителями
соблюдения нормативных требований
и подготовка кадров*

Для промышленного внедрения новых технологий обработки и хранения пищевых продуктов не менее значимо принятие таких продуктов потребителями. Поэтому важно, чтобы потребитель был должным образом информирован о способах обработки пищевых продуктов. Многие потребители не знакомы с новыми технологиями или дезинформированы о них, поэтому могут потребоваться коммуникационные и образовательные программы для доведения информации о преимуществах современных технологий и их влиянии на качество продуктов. Достоверная информация о безопасности, высокой пищевой ценности и сроках хранения, полученных с помощью новых нетермических технологий, также имеет решающее значение для завоевания доверия потребителей. Для достижения целей стерилизации и обеспечения безопасности продуктов, а также сохранения пищевой ценности новые технологии целесообразно использовать в комбинировании для достижения максимальной летальности микроорганизмов при минимальном времени воз-

действия. Барьерный подход или комбинирование методов обработки для микробной инактивации будет способствовать увеличению срока годности продуктов и сохранению биологически активных веществ, а также органолептических показателей. С целью установления оптимальных температурных режимов и времени обработки исходного сырья и продуктов его переработки необходимо продолжать научные исследования, пилотные испытания и эксперименты. На основании полученных научных данных следует разработать нормативную документацию, в которой будут установлены санитарно-гигиенические нормативы и требования, строгое соблюдение которых позволит обеспечить выпуск качественной и безопасной продукции. Все это трудоемкий и длительный процесс, в ходе которого необходимо также учитывать существующие особенности страны производителя, ее специфику. Целесообразно и необходимо вести тесное сотрудничество с контролирующими органами здравоохранения и стандартизации, совместного мониторинга качества и безопасности обрабатываемых продуктов, оценку рисков и необходимые корректирующие действия. Для использования современных технологий и способов обработки пищевых продуктов необходимо провести обучение и переподготовку обслуживающего персонала, инженерно-технических работников и других сотрудников предприятий пищевой промышленности. Тесное сотрудничество научных и образовательных учреждений с предприятиями пищевой отрасли будет способствовать эффективности теоретической подготовки кадров и практическому обучению в промышленных условиях.

Заключение

Обзор и критический анализ результатов проведенных научных исследований позволяет предполагать, что промышленное внедрение современных термических и нетермических способов обработки способствует снижению энергопотребления, воды, образования отходов производства, максимальному сохранению качественных органолептических и физико-химических показателей, высокой пищевой ценности пищевых продуктов и продлению сроков хранения. Однако для обеспечения широкого промышленного внедрения современных технологий необходимо решение многих существующих проблем. В качестве первоочередных задач необходимо наладить серийный выпуск промышленного технологического оборудования, обеспечивающего эффективную работу в производственных

условиях, установить оптимальные режимы и параметры обработки для каждого вида пищевого сырья и готовой продукции, согласовать с надзорными органами нормативную документацию, соблюдение которой в полной мере обеспечит выпуск качественной и безопасной продукции. Кроме того, совместно с образовательными учреждениями необходимо разработать программы и провести обучение, подготовку и переподготовку инженерно-технического персонала предприятий пищевой отрасли. Особо следует отметить, что техническое перевооружение предприятий для внедрения и функционирования современных технологических способов и методов обработки, хранения и реализации, переподготовка кадров, другие необходимые организационно-технические мероприятия потребуют значительных материальных затрат. Поэтому перед внедрением той или иной современной технологии необходимо провести расчет экономической эффективности и окупаемости проекта. Таким образом, дальнейшие научные исследования по использованию новых технологий обработки в промышленных масштабах с последующим изучением влияния их применения в социальной, экономической и финансовой областях значительно расширят возможности их устойчивого применения в пищевой промышленности.

Список литературы

- Knorr D. & Augustin M.A. Preserving the food preservation legacy // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2023. Vol. 63. P. 9519–9538. DOI: 10.1080/10408398.2022.2065459.
- Бурак Л.Ч. Использование современных технологий обработки для увеличения срока хранения фруктов и овощей. Обзор предметного поля // *Ползуновский вестник*. 2024. № 1. С. 99–119. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.01.013.
- Ritchie H., Rosado P., Roser M. Environmental Impacts of Food Production. 2022. OurWorldInData. [Электронный ресурс]. URL: <https://ourworldindata.org/environmental-impacts-of-food> (дата обращения: 30.08.2024).
- Бурак Л.Ч., Сапач А.Н. Использование технологии омического нагрева в процессе переработки плодов и овощей. Обзор предметного поля // *Пищевые системы*. 2024. Т. 7, № 1. С. 59–70. DOI: 10.21323/2618-9771-2024-7-1-59-70.
- Burak L.Ch., Yablonskaya V.V., Sapach A.N. The impact of modern techniques treatments for antioxidant activity and antimicrobial ability of honey (review) // *Modern Science and Innovations*. 2023. Vol. 3 (43). P. 141–155. DOI: 10.37493/2307-910X.2023.3.13.
- Бурак Л.Ч., Завалей А.П. Эффективность комбинированного воздействия ультразвука и микроволн при обработке пищевых продуктов. Обзор // *Техника и технология пищевых производств*. 2024. Т. 54, № 2. С. 342–357. DOI: 10.21603/2074-9414-2024-2-2510.
- Singh J., Kumar R., Kumar V., Chatterjee S. Exploring the dynamics of bigdata adoption in the Indian food industry with fuzzy analytical hierarchical process // *British Food Journal*. 2024. Vol. 126. P. 2310–2327. DOI: 10.1108/BFJ-01-2024-0012.
- Hassoun A., Garcia-Garcia G., Trollman H., Jagtap S., Parra-López C., Cropotova J., Bhat Z., Centobelli P., Ait-Kadour A. Birth of dairy 4.0: Opportunities and challenges in adoption of fourth industrial revolution technologies in the production of milk and its derivatives // *Curr Res Food Sci*. 2023. Vol. 24, Is. 7. P. 100535. DOI: 10.1016/j.crfcs.2023.100535.
- Бурак Л.Ч. Использование методов нетермической обработки для обеспечения качества и безопасности рыбы и других гидробионтов. Обзор предметного поля // *Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета*. 2024. Т. 27, № 3. С. 343–360. DOI: 10.21443/1560-9278-2024-27-3-343-360.
- Alsaedi A.W.M., Al-Mousawi A.J., Al-Hilphy A.R., Gavahian M. Non-thermal pasteurization of milk by an innovative energy-saving moderate electrical field equipped with elongated electrodes and process optimization // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2023. Vol. 88. P. 103445. DOI: 10.1016/j.ifset.2023.103445.
- Deng X., Huang H., Huang S., Yang M., Wu J., Zhang D. Insight into the incredible effects of microwave heating: Driving changes in the structure, properties and functions of macromolecular nutrients in novel food // *Front Nutr*. 2022. Vol. 13. P. 941527. DOI: 10.3389%2Ffnut.2022.941527.
- Guzik P., Kulawik P., Zajac M., Migdał W. Microwave applications in the food industry: an overview of recent developments // *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2022. Vol. 62. P. 7989–8008. DOI: 10.1080/10408398.2021.1922871.
- Li N., Li H., Liu Z., Lv S., Xie S., Shi C., Wu Y. Preparation and Product Characterization of Microwaveable Food Using *Lentinus edodes* Protein through 3D Printing // *Polymers (Basel)*. 2023. Vol. 12, Is. 15. P. 3736. DOI: 10.3390/polym15183736.
- Cheng J.-H., Lan L. & Sun D.-W. Innovative strategy for fabricating nanomaterials to ensure food safety by cold plasma: principles, mechanisms, and applications // *Trends in Food Science & Technology*. 2024. Vol. 151. P. 104644. DOI: 10.1016/j.tifs.2024.104644.
- Бурак Л.Ч., Сапач А.Н., Завалей А.П. Влияние обработки холодной плазмой на качество и пищевую ценность растительного сырья. Обзор предметного поля // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2024. Т. 14, № 2 (49). С. 173–183. DOI: 10.21285/achb.914.
- Chaosuan N., Phimolsiripol Y., Gavahian M. Sustainable electrical-based technologies for extraction and modification of pectin from agri-food waste // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2024. Vol. 96. P. 103779. DOI: 10.1016/j.ifset.2024.103779.
- Kroehnke J., Musielak G. Ultrasound-assisted drying of apples – process kinetics, energy consumption, and product quality // *Drying Technology*. 2024. Vol. 42 (1). P. 1757–1765. DOI: 10.1080/07373937.2024.2388305.
- Waziroo H., Bender D., Jäger H. & Schönlechner R. Ohmic baking of gluten-free bread: role of non-gluten protein on GF bread structure and properties // *International Journal of Food Science & Technology*. 2023. Vol. 58. P. 595–609. DOI: 10.1111/ijfs.16206.
- Panirani P.N., Darvishi H., Hosainpour A. & Behrooz-Khazaei N. Comparative study of different bread baking methods: combined ohmic – infrared, ohmic – conventional, infrared – conventional, infrared, and conventional heating // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2023. Vol. 86. P. 103349. DOI: 10.1016/j.ifset.2023.103349.
- Kutlu N., Pandiselvam R., Saka I., Kamiloglu A., Sahni P., Kothakota A. Impact of different microwave treatments on food texture // *J Texture Stud*. 2022. Vol. 53. P. 709–736. DOI: 10.1111/jtxs.12635.
- Alaguthevar R., Packialakshmi J.S., Murugesan B., Rhim J., Thiyagamoorthy U. In-package cold plasma treatment to extend the shelf life of food // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2024. Vol. 23. e13318. DOI: 10.1111/1541-4337.13318.
- Vashisht P., Singh L., Mahanta S. Pulsed electric field processing in the dairy sector: a review of applications, quality impact and implementation challenges // *International Journal of*

- Food Science & Technology. 2024. Vol. 59. P. 2122–2135. DOI: 10.1111/ijfs.16979.
23. Al-Hilphy A.R., Hassan M., AlLami M.K., Tiwari B.K., Gavahian M. In-pack sonication of chicken breast: effects of ultrasound conditions on physicochemical and microbiological properties, and shelf-life of optimally processed meat during frozen storage // *Journal of Food Measurement and Characterization*. 2024. DOI: 10.1007/s11694-024-02791-5.
24. Chaosuan N., Phimolsiripol Y., Gavahian M. Sustainable electrical-based technologies for extraction and modification of pectin from agri-food waste // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2024. Vol. 96. P. 103779. DOI: 10.1016/j.ifset.2024.103779.
25. Nabi B.G., Mukhtar K., Ansar S. Application of ultrasound technology for the effective management of waste from fruit and vegetable // *Ultrasonics Sonochemistry*. 2024. Vol. 102. P. 106744. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2023.106744.
26. Vărzaru A.A. Unveiling Digital Transformation: A Catalyst for Enhancing Food Security and Achieving Sustainable Development Goals at the European Union Level // *Foods*. 2024. Vol. 17, Is. 8. P. 1226. DOI: 10.3390/foods13081226.
27. Sain M., Minz P.S., John H., Singh A. Effect of ohmic heating on food products: an in-depth review approach associated with quality attributes // *Journal of Food Processing and Preservation*. 2024. Vol. 2024. P. 1–17. DOI: 10.1155/2024/2025937.
28. Ni J., Zhou X., Ge W., Chen H., Wang H. Investigation of synergistic effect and mechanism of green tea extract and coffee extract on α -amylase and α -glucosidase inhibition // *International Journal of Food Science & Technology*. 2024. Vol. 59. P. 6590–6597. DOI: 10.1111/ijfs.17412.
29. Melliyan S.N., Afandi F.A., Giriwono P.E., Herawati D. A meta-analysis: the effects of types, roasting degrees and origins on antioxidant properties of coffee // *International Journal of Food Science & Technology*. 2023. Vol. 58. P. 2857–2865. DOI: 10.1111/ijfs.16431.
30. Silva M.E.D.S., Oliveira R.L., Lucena R.M., Silva S.P., Porto T.S. Coffee fermentation as a tool for quality improvement: an integrative review and bibliometric analysis // *International Journal of Food Science & Technology*. 2024. Vol. 59. P. 5912–5925. DOI: 10.1111/ijfs.17381.
31. Kamatchi A.R., Anjali K.U., Haripriya S., Kumar A. Microwave-assisted ultrasonication extraction of phytochemical, antioxidant and techno-functional characteristics of pigmented and non-pigmented rice landraces // *International Journal of Food Science & Technology*. 2023. Vol. 58. P. 4043–4050. DOI: 10.1111/ijfs.16268.
32. Jie Yang, Yunfeng Wang, Ming Li, Cuixian Peng, Qi Liu, Xiaokang Guan, Zhongwei Liang, Qian Wang. Research progress of mushroom drying pretreatment technology // *Journal of Food Process Engineering*. 2024. Vol. 47. P. 6. DOI: 10.1111/jfpe.14648.
33. Meijer G.W., Lähteenmäki L., Stadler R.H., Weiss J. Issues surrounding consumer trust and acceptance of existing and emerging food processing technologies // *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2021. Vol. 61. P. 97–115. DOI: 10.1080/10408398.2020.1718597.