

УДК 637.438:66.083/084.8:579.67

Экспериментальная оценка влияния комплексной обработки высоким давлением и ультразвуком на микробиологические показатели жидкого яичного меланжа

С. А. Соколов¹, И. Г. Дейнека², А. А. Декань³, А. А. Яшонков¹

¹ Керченский государственный морской технологический университет, г. Керчь, Российская Федерация

² Луганский государственный университет имени В. Даля, г. Луганск, Российская Федерация

³ Донецкий национальный университет экономики и торговли имени М. Туган-Барановского, г. Донецк, Российская Федерация

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Яшонков Александр Анатольевич
E-mail: jashonkov@rambler.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Соколов, С.А., Дейнека, И.Г., Декань, А.А., & Яшонков, А.А. (2023). Экспериментальная оценка влияния комплексной обработки высоким давлением и ультразвуком на микробиологические показатели жидкого яичного меланжа. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 59-68. <https://doi.org/10.36107/spfr.2023.472>

ПОСТУПИЛА: 13.05.2023

ПРИНЯТА: 15.09.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2023

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



АННОТАЦИЯ

Введение. Интенсивное развитие технологии с использованием высокого давления обусловлено не только его способностью инактивировать патогенную микрофлору, но и перспективами придания полезных потребительских свойств пищевым продуктам. Также одним из эффективных способов энергетического влияния на технологические процессы является использование акустических колебаний. Многочисленные исследования подтверждают перспективность данных методов обработки пищевого сырья. Однако, физические процессы, происходящие в жидком яичном меланже под влиянием ультразвуковых колебаний, которые наложены на другие силовые поля (высокое давление, электрические поля и др.), недостаточно изучены.

Цель: Экспериментальная оценка синергетического влияния комбинированной обработки высоким давлением и ультразвуком на примере деконтаминации жидкого яичного меланжа.

Материалы и методы: В качестве объекта исследований был принят – жидкий однородный яичный меланж, т.е. смесь белка и желтка. Исследования проводились на автоматизированной установке, позволяющей проводить исследования при давлениях от 0,1 до 1000 МПа, при температуре от + 5 до + 100 °С, частота ультразвукового воздействия от 17 до 35 кГц; мощность ультразвукового воздействия от 0 до 300 Вт.

Результаты: Исследование микробиологической обсемененности жидкого яичного меланжа, в котором начальная концентрация кишечной палочки K12DH5a составляла приблизительно 10⁸ КОЕ/мл было проведено при обработке его ультразвуком мощностью 20, 30 и 40 Вт, высоким давлением 200 МПа на протяжении 400 секунд и при совместной обработке ультразвуком мощностью 40 Вт, частоте излучения – 25 кГц и высоким давлением 200 и 250 МПа. Анализ полученных результатов показывает, что обработка жидкого яичного меланжа ультразвуком в выбранном интервале мощностей не обеспечивает его стерилизацию. Обработка жидкого яичного меланжа высоким давлением обеспечивает стерилизацию его через 400 секунд.

Выводы: Применение ультразвука мощностью 40 Вт частотой излучения – 25 кГц при совместной обработке давлением 250 МПа позволяет сократить время обработки практически на 44 %, комплексная же обработка с параметрами ВД-200МПа +УЗ 40 Вт, снижает время обработки ориентировочно на 30 % но позволяет сократить рабочее давление на 50 МПа, что способствует снижению металлоёмкости установки и улучшает экономические показатели процесса.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

высокое давление, ультразвук, комплексная обработка, жидкий однородный яичный меланж, микробиологические показатели

Experimental Evaluation of the Effect of Complex Treatment with High Pressure and Ultrasound on Microbiological Parameters of Liquid egg Melange

¹ Kerch State Maritime Technological University, Kerch, Russian Federation

² Lugansk Vladimir Dahl State University, Lugansk, Russian Federation

³ Donetsk national University of Economics and trade named after Mikhail Tugan-Baranovsky, Donetsk, Russian Federation

CORRESPONDENCE:

Aleksander A. Yashonkov

E-mail: jashonkov@rambler.ru

FOR CITATIONS:

Sokolov, S.A., Deyneka, I.G., Dekan', A.A., & Yashonkov, A.A. (2023). Experimental evaluation of the effect of complex treatment with high pressure and ultrasound on microbiological parameters of liquid egg melange. *Storage and Processing of Farm Products*, (3), 59-68. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.472>

RECEIVED: 13.05.2023

ACCEPTED: 15.09.2023

PUBLISHED: 30.09.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



Sergey A. Sokolov¹, Innesa G. Deyneka², Aleksej A. Dekan'³, Aleksander A. Yashonkov¹

ABSTRACT

Introduction: The intensive development of technology using high pressure is due not only to its ability to inactivate pathogenic microflora, but also to the prospects that open up for giving new useful consumer properties to food products. Also, one of the effective ways of energy influence on technological processes is the use of acoustic vibrations. Numerous previous studies confirm the prospects of these methods of processing food raw materials. However, the physical processes occurring in a liquid medium under the influence of ultrasonic vibrations, which are superimposed on other force fields (high pressure, electric fields, etc.), are insufficiently studied.

Purpose: Experimental evaluation of the synergistic effect of combined high-pressure and ultrasound treatment on the example of decontamination of egg white, yolk and liquid egg melange.

Materials and Methods: Liquid homogeneous egg melange, i.e. a mixture of protein and yolk, was accepted as the object of research. The studies were carried out on an automated installation that allows conducting studies at pressures from 0.1 to 1000 MPa, at temperatures from + 5 to + 100 °C, the frequency of ultrasonic exposure from 17 to 35 kHz; the power of ultrasonic exposure from 0 to 300 watts.

Results: The study of the microbiological contamination of egg melange, in which the initial concentration of *E. coli* K12DH5a was approximately 10⁸ CFU/ml, was carried out separately when it was treated with ultrasound with a power of 20, 30 and 40 watts, high pressure of 200 MPa for 400 seconds and with joint treatment with ultrasound with a power of 40 watts, a radiation frequency of 25 kHz and high pressure 200 and 250 MPa. The analysis of the obtained results shows that the treatment of liquid egg melange with ultrasound in the selected power range does not ensure its sterilization. High-pressure treatment of liquid melange ensures its sterilization after 400 seconds.

Conclusion: The use of ultrasound with a power of 40 W and a radiation frequency of 25 kHz with joint processing with a pressure of 250 MPa reduces the processing time by almost 44 %, while complex processing with the parameters high pressure – 200MPa + ultrasound 40 W reduces the processing time by approximately 30 % but reduces the working pressure by 50 MPa, which can help reduce metal consumption installations and, as a result, improves the economic performance of the process being carried out.

KEYWORDS

high pressure, ultrasound, integrated processing, liquid homogeneous egg melange, microbiological indicators

ВВЕДЕНИЕ

Пищевые продукты — являются средой для роста патогенных бактерий, которые могут вызвать различные заболевания у людей. Качество и срок хранения пищевых продуктов в значительной степени зависит от природы загрязняющих микроорганизмов. Скоропортящиеся продукты обычно предохраняют от действия микроорганизмов путём консервирования, чем обеспечивается сохранение питательной ценности продукта и его качества. Применяемые методы обработки продуктов с целью обеспечения их стерильности, увеличения сроков хранения и улучшения потребительских свойств зависят от вида и свойств сырья, а также назначения готового продукта. В настоящее время применяют физические, физико-химические, химические и биохимические методы консервирования (Бурак, 2021; Гусейнова с соавт., 2021). Выбор и применение конкретных методов консервирования определяется их влиянием на исходное сырьё и качество получаемого продукта. Основу этих методов до настоящего времени составляли термообработка (пастеризация, стерилизация) и замораживание. (Флауменбаум, 1993) В некоторых случаях используются также системы обеспложивания, а также обработка ультрафиолетовыми лучами, ультразвуком и ионизирующими излучениями (Воложанинова с соавт., 2015). В охлаждённых продуктах почти (но не полностью) подавляется развитие патогенной и обычной сапрофитной микрофлоры, снижается активность тканевых ферментов (Гусейнова с соавт., 2021). При замораживании находящаяся в продуктах вода превращается в лёд, поэтому осмотические условия для развития микроорганизмов неблагоприятны. Однако хранение замороженных продуктов при низких температурах вызывает в них ряд физических и гистологических изменений (изменение консистенции, объёма, цвета, структуры, потери массы и др.), зависящих от условий замораживания и последующего оттаивания (размораживания) продукта (Гусейнова с соавт., 2021).

При пастеризации продукт нагревают до температуры ниже 100°C (65–85°C). Пастеризованные продукты не пригодны для длительного хранения, так как вегетативные формы микробов погибают, но споры сохраняют свою жизнеспособность. Пастеризации подвергают молоко, сливки, джем, плодово-ягодные соки, пиво и другие продукты. При

этом происходит частичное разрушение витаминов и биологически активных веществ (Воложанинова с соавт., 2015; Соколов & Яшонков, 2021).

Стерилизация — тепловая обработка герметично закрытого продукта при температуре 113–120°C в течение времени, определяемого для каждого продукта экспериментальным путём (Флауменбаум, 1993). Цель стерилизации — полное уничтожение в продукте микробов и их спор. Стерилизуют мясные, рыбные, молочные, фруктовые и другие консервы. При стерилизации, обеспечивающей возможность сохранять продукты в течение длительного времени, снижается их вкусовая и питательная ценность вследствие гидролиза и денатурации белков, крахмал и сахар частично расщепляются, ферменты (в том числе и «полезные») инактивируются, разрушается часть витаминов, изменяется структура и цвет (Воложанинова с соавт., 2015).

Ультразвуковые волны (УЗ) (с колебанием выше 20 кГц) используют для стерилизации молока, консервов, соков, воды и других жидких продуктов. При этом способе в большей мере, чем при тепловой обработке, сохраняются витамины и первичные вкусовые свойства, однако кавитационные эффекты приводят к локальным повышениям температуры, что снижает ценность данного способа (Акопян, 2005).

Ионизирующее излучение, проникая через живую ткань, вызывает превращение нейтральных молекул и атомов вещества в положительно и отрицательно заряженные ионы. Этим излучением обрабатывают продукты в герметичной таре большого размера и в крупной упаковке из полимерных материалов. При этом наблюдается некоторые изменения белков, расщепление серосодержащих аминокислот, окисление жиров, разрушение витаминов, изменение вкуса и запаха продуктов. Ионизирующее излучение изменяет структурные элементы клеток микроорганизмов, нарушает процессы размножения (Мусина & Коновалов, 2016).

Облучение ультрафиолетовыми лучами применяют для стерилизации поверхности колбасных изделий, мясных туш и других продуктов. Гибель микробных клеток в этом случае обусловлена адсорбцией ультрафиолетовых лучей нуклеиновыми кислотами и нуклеопротеидами, которые денатурируют (Тиганов, 2007)

Механическая стерилизация (обеспложивание) — это фильтрование жидких продуктов через специальные фильтры и мембраны, с последующим разливом их в стерильную тару. При такой стерилизации сохраняется вкус, витамины и аромат продукта. Недостатком этого метода является сложность оборудования и трудоемкость его эксплуатации (Бурак, 2021).

Химические и комбинированные методы консервирования осуществляются введением в пищевые продукты химических веществ, которые должны препятствовать развитию микроорганизмов. Среди них уксусная, бензойная, сорбиновая, пропионовая и борная кислоты, копильные жидкости и дым, сернистый ангидрид, метабисульфит калия, уротропин и некоторые антибиотики. Действие этих веществ на организм человека еще до конца не изучен, но имеются многочисленные свидетельства нежелательности их использования с точки зрения влияния на организм человека и животных (Флауменбаум, 1993).

В настоящее время наиболее интенсивно внедряется во все отрасли пищевой промышленности технология обработки пищевых продуктов высоким давлением (ВД) (Катанаева с соавт., 2022). Одним из преимуществ использования ВД на пищевые продукты (по сравнению с рассмотренными методами) является одновременная и равномерная передача давления по всему объему обрабатываемого продукта и, как следствие, наблюдаемая независимость параметров процесса от её размера и геометрии (Прокопенко & Кретов, 2022). При обычной тепловой обработке размер и геометрия является лимитирующим фактором. К примеру, снижение размера фрагментов продовольственного сырья в тепловом водно-фазовом процессе необходимо для улучшения тепло и массопереноса, однако при этом ухудшаются питательные свойства продукта и состояние окружающей среды (загрязнение сточных вод). Процесс с использованием ВД, в связи с этим, приобретает большую гибкость и универсальность, а в конечном итоге, революционизирует традиционный метод переработки пищевых продуктов. Одним из наиболее важных достоинств этого метода является сохранение формы обрабатываемого материала в широком диапазоне используемых давлений. Процесс с ис-

пользованием ВД является экологически чистым, так как существенно снижает отходы производства (образующиеся, например, как результат разрыва растительных и животных клеток или тканей).

Существующие методы обработки продуктов питания могут быть усовершенствованы путем объединения двух или более известных методов, что позволяет ослабить негативные стороны каждого отдельного метода, и в результате получить новые позитивные факторы, позволяющие говорить о возможности получения продуктов более высококачественных, с увеличенным сроком хранения и минимальными затратами на производство (Крюкова с соавт., 2019; Corrales et al., 2008; Lopez et al., 1998). Использование ВД в пищевых технологиях в настоящее время является одним из наиболее перспективных способов обработки пищевых продуктов. С другой стороны, одним из эффективных способов энергетического влияния на технологические процессы использования акустических колебаний. Применение акустических колебаний малой мощности позволяет интенсифицировать тепло — массообменные процессы при обработке ВД, с одновременным снижением материалоемкости используемого оборудования и энергозатрат на достижение желаемого технологического и микробиологического эффекта. Данные обстоятельства позволяют утверждать, что комбинированная, комплексная обработка пищевых продуктов ВД и УЗ позволит получить ряд положительных эффектов, таких как снижение величины рабочего параметра ВД, приводящего к стерилизации продукта, уменьшению продолжительности обработки, снижения мощности излучения УЗ (Сукманов, 2008). Анализ физических процессов, происходящих при обработке продуктов питания ВД и УЗ показал, что объединение этих методов является перспективным и позволит получить продукты с улучшенными их характеристиками.

Яйца являются одним из основных продуктов в питании человека. В яйцах содержатся в оптимальном соотношении все питательные вещества, необходимые для развития и поддержания жизни организма. Основными компонентами содержимого яиц, имеющими особое значение в питании, являются белки, липиды и витамины. Белки яиц полностью усваиваются организмом человека¹. По-

¹ Фисинин, В. И., Гушин, В. В., & Лукашенко, В. С. (2015) *Пищевая и биологическая ценность яиц и яичных продуктов: Справочник*. Сергиев Посад: Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства РАСХН.

этому аминокислотный состав белков яиц часто принимается для сравнения в качестве оптимального (Wrigley & Llorca, 1992; Singh et al., 2015). Куриные яйца являются незаменимыми в кулинарном производстве. Широкое использование яиц в пищевом производстве обусловлено не только их высокой питательной ценностью и отличными вкусовыми качествами, но и технологическими свойствами, способностью образовывать пену при взбивании, эмульгировать жиры, высокой вязкостью. Свежеснесенные яйца от здоровых кур покрыты бактерицидной слизью и через сутки после снесения на 1 см² поверхности чистой скорлупы яиц содержится в среднем $3 \cdot 10^5$ микроорганизмов, на 1 см² поверхности скорлупы загрязненных яиц — $3 \cdot 10^4$ микроорганизмов, а на 1 см² поверхности грязных яиц $4,3 \cdot 10^5$ – $1,4 \cdot 10^6$ микроорганизмов. Спустя 4 дня количество жизнеспособных бактерий на чистой скорлупе сокращается в 5 раз, на загрязненной — в 3, а на грязной скорлупе — в 2 раза. Большое количество микроорганизмов на поверхности загрязненной и грязной скорлупы способствует быстрому проникновению их через поры скорлупы в содержимое яйца, подавлению бактерицидной активности белка, что приводит к быстрой порче яиц (Бурмистрова с соавт., 2019). Эти обстоятельства потенциально могут привести к проникновению патологической микрофлоры в производимый продукт, особенно при производстве белковых кремов для кондитерских изделий, которые не подвергаются термической обработке и употребляются в «сыром» виде. Вышеперечисленные обстоятельства позволяют использовать жидкий яичный меланж в качестве объекта для экспериментальной оценки эффективности комплексной обработки продуктов питания ВД и УЗ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В процессе комплексной обработки продуктов питания ВД и УЗ были проведены экспериментальные исследования, в которых в качестве объекта был принят жидкий однородный яичный меланж, т.е. смесь белка и желтка.

Объект

В исследованиях были использованы яйца куриные в скорлупе ГОСТ 31654–2012 Яйца куриные пищевые. Технические условия².

Методы

Свежесть куриных яиц контролировалась при помощи лабораторного pH-метра. Измерения данного показателя производили для каждой новой партии яиц, и полученные значения находились в интервале от 7,4 до 7,8.

Процедура

Свежие целые яйца были вымыты водопроводной водой, затем погружены в 70% раствор этанола на 10 мин и затем высушены на воздухе. Прозеинфицированные яйца были разбиты вручную, после чего перемешаны миксером в стерильной посуде в течение 1 минуты, и упакованы в специальные стерильные контейнеры для обработки в установке высокого давления (УВД) (Декань А.А. с соавт., 2022). Часть подготовленных продуктов, используемых в качестве контрольных образцов, была помещена в стерильную посуду с притертой пробкой. Условия хранения всех исследуемых образцов продуктов + 4 ± 0,5 °С. Для проведения экспериментальных исследований микробиологической эффективности предлагаемого способа была использована культура кишечной палочки (КП), которую готовили следующим образом. Кишечная палочка K12DH5α была перенесена в 20 мл стандартного бульона и выращена в вибрирующем инкубаторе в течение 24 часов при 30 °С. Через 24 часа инкубации 50 мл суспензии были перенесены в 20 мл свежего бульона, и выращивание продолжалось еще 24 часа. Для исследований влияния стерилизующего эффекта ВД на исследуемые продукты были подготовлены следующие образцы: 1мл суспензии микроорганизмов с КП были привиты к 100мл белка, желтка и жидкого яичного меланжа. При этом начальная концентрация КП составила примерно 108 КОЕ/мл.

² ГОСТ 31654–2012. (2012). *Яйца куриные пищевые. Технические условия*. М.: Стандартинформ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

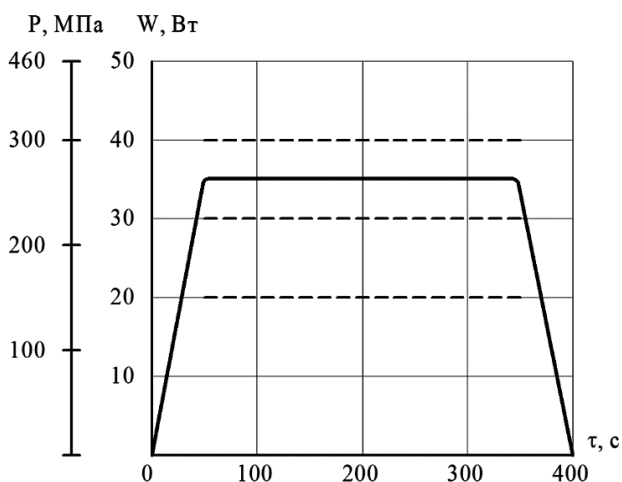
Согласно поставленной цели, найти необходимое сочетание двух отдельных обработок (ВД + УЗ), для достижения синергетического эффекта с целью деконтаминации жидкого яичного меланжа был проведен цикл экспериментальных исследований по подбору параметров вышеприведенных процессов обработки, применение которых позволит снизить величины рабочего давления, и мощности ультразвука.

Опираясь на исследования Hayashi et al. (1989), Plancken et al. (2005) и Wrigley & Llorca (1992) авторы которых определили интервал значений величин давления, температуры и времени обработки жидкого яичного меланжа мы использовали их в качестве контрольных показателей для получения параметров процесса обработки ВД, обеспечивающего их микробиологическую стерильность, улучшение технологических и потребительских свойств. Интервал значений параметров УЗ обработки был определён (Wrigley & Llorca, 1992) а именно: мощность УЗ излучения: 20, 30 и 40 Вт с постоянной частотой 25 кГц и продолжительность облучения до 300 с давление — до 300 МПа.

График полного цикла комплексной обработки жидкого яичного меланжа ВД +УЗ представлен

Рисунок 1

Изменение параметров процесса комплексной обработки жидкого яичного меланжа ВД и УЗ в течении полного цикла обработки



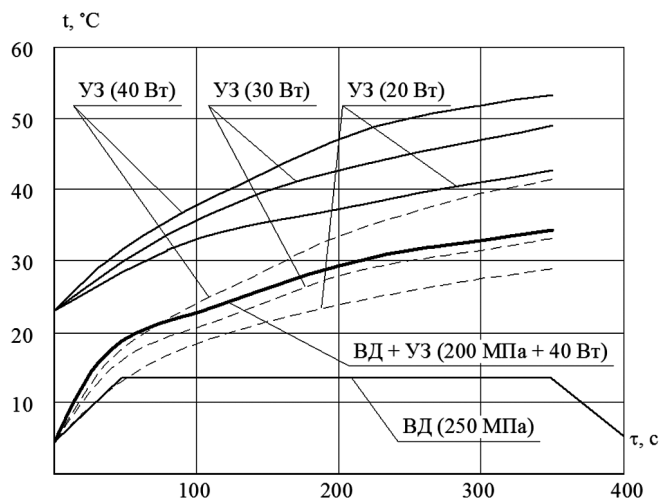
на Рисунке 1, где в течение первых 50 секунд осуществлялся подъем давления до 250МПа, после чего включался УЗ излучатель, на котором устанавливались выбранные значения мощности и частоты излучения. Через 300 секунд излучатель отключали и в течении последующих 50 секунд сбрасывали давление до атмосферного.

В связи с необходимостью проведения сравнительных исследований по стерилизации обрабатываемого продукта на первой стадии исследования были проведены эксперименты по изучению влияния УЗ на микробиологическую обсемененность жидкого яичного меланжа. В связи с тем, что наиболее часто встречающимся представителем микрофлоры куриных яиц является кишечная палочка (КП) (Бурмистрова с соавт., 2019), исследования были проведены именно на данном представителе микрофлоры.

В связи с тем, что обработка продуктов питания как ВД, так и УЗ приводит к повышению их температуры, а изменение температуры обработки ниже или выше комнатной увеличивает норму инактивации микроорганизмов (Knorr & Heinz, 1999), то на первом этапе исследований было изучено влияние данных параметров процесса на температуру исследуемых образцов в процессе обработки. Контейнеры с образцами были помещены в рабочую камеру УВД с УЗ излучателем и обработаны ВД до значения 250 МПа в течение 400 с. Часть образ-

Рисунок 2

Изменение температуры образцов жидкого яичного меланжа в процессе их обработки УЗ, ВД, а также комплексной обработки ВД + УЗ

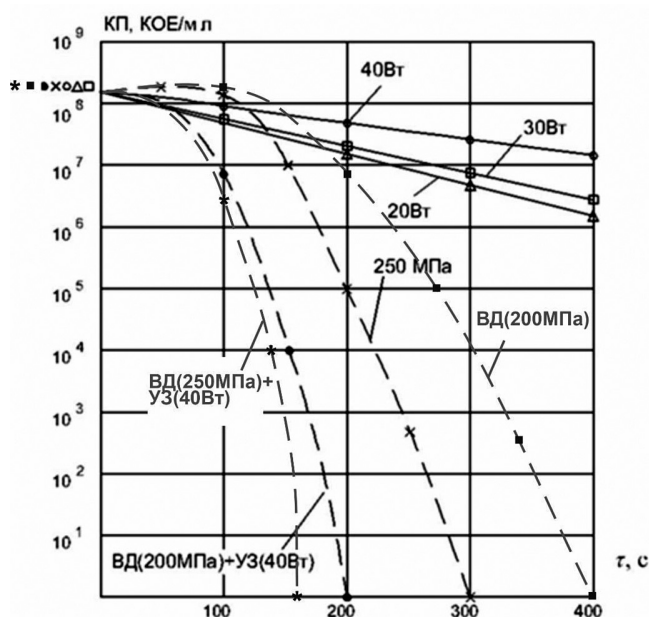


цов были помещены в камеру УВД и обработаны УЗ. Нами были проведены предварительные исследования по определению начальной температуры обработки УЗ, часть образцов имели начальную (комнатную) температуру 22 °С и часть образцов (хранящихся в холодильном шкафу) 5 °С. Результаты экспериментальных исследований представлены на Рисунке 2.

Анализ полученных результатов показывает, что в течение 300 с обработкой УЗ приводит к увеличению температуры ориентировочно в два раза; конечная температура достигает 40–45 °С. При данной температуре начинается денатурация белков, следовательно, начальная температура процесса в 22 °С не применима. При возрастании мощности излучения (20, 30, 40 Вт) температура обрабатываемого продукта возрастала соответственно на 17, 22, 27 °С при начальной температуре 22 °С и на 18, 27 и 33 °С, при начальной температуре 5 °С. Сравнение данных значений температуры показывает, что при возрастании начальной температуры продукта снижается темп роста температуры продукта до достижения конечного ее значения. При обработке образцов ВД температура возрастала с 5 до 14 °С в период возрастания ВД, далее стабилизировалась и затем снижалась с 14 до 5 °С.

Рисунок 3

Изменение содержания кишечной палочки в образцах жидкого яичного меланжа в процессе его обработки УЗ, ВД, а также комплексной обработки УЗ + ВД



Выбор режима комплексной обработки исследуемых образцов базировался на предварительных проведенных пилотных исследованиях (Сукманов с соавт., 2008). ВД+УЗ были выбраны параметры обработки: начальная температура 5 °С, мощность УЗ — 40 Вт, частота излучения — 25 кГц и продолжительность облучения: до 300 с, что обеспечивало щадящий режим обработки продукта и не приводило в денатурации белков в результате локального повышения температуры. Суммарное изменение температуры образцов продукта при давлении 200 МПа и мощности УЗ 40 Вт (сплошная жирная линия) приведены на Рисунке 2 и соответствует 32 °С, что не приводит к денатурации белка яйца.

Исследование микробиологической обсемененности жидкого яичного меланжа, в котором начальная концентрация КП составляла приблизительно 10⁸ КОЕ/мл. было проведено при обработке его УЗ мощностью 20, 30 и 40 Вт, ВД 200 МПа на протяжении 400 с (из которых 100 с — период подъема и сброса давления) и при комплексной его обработке: УЗ+ВД. Результаты исследований приведены на Рисунке 3. Анализ полученных результатов показывает, что обработка жидкого яичного меланжа УЗ в выбранном интервале мощностей не обеспечивает его стерилизацию. Обработка же ВД 250 МПа обеспечивает его стерилизацию через 300 с. Комплексная обработка жидкого яичного меланжа ВД 200 МПа +УЗ 40 Вт обеспечивает его стерилизацию через 200 с.

ВЫВОДЫ

Таким образом, в статье рассмотрены и проанализированы возможности применения комбинированной обработки жидкого яичного меланжа для его деконтаминации. Показаны результаты обработки жидкого яичного меланжа отдельно высоким давлением 250 МПа что обеспечило его стерилизацию через 300 с. Применение отдельно ультразвука частотой 25 кГц в диапазоне мощностей излучателя от 20 до 40 Вт не обеспечило стерилизацию меланжа. Выбрано наиболее эффективное для решения поставленной задачи сочетание ультразвука мощностью 40 Вт частотой излучения — 25 кГц при совместной обработке давлением 250 МПа, что позволяет сократить время обработки практически на 44 %. Комплексная же обработка с параметрами ВД-200МПа +УЗ 40 ВТ, снижает время обработки

ориентировочно на 30% но позволяет сократить рабочее давление на 50 МПа, что может способствовать снижению металлоёмкости установки и как следствие улучшает экономические показатели осуществляемого процесса. В результате проведенных исследований в статье делается вывод о перспективности использования синергетического эффекта от одновременной обработки высо-

ким гидростатическим давлением и ультразвуком для обеззараживания жидкого яичного меланжа. Полученные экспериментальные результаты можно использовать для разработки соответствующего оборудования и использовать при обеззараживания других жидких продуктов и сырья в пищевой промышленности.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Соколов Сергей Анатольевич: концептуализация; проектирование методологии; редактирование рукописи.

Дейнека Инесса Григорьевна: администрирование проекта; проведение исследовательского процесса; создание черновика рукописи.

Декань Алексей Алексеевич: проведение исследования; формальный анализ; обработка и верификация данных.

Яшонков Александр Анатольевич: проведение исследования; визуализация; ресурсное обеспечение.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Акопян, В. Б. (2005) *Основы взаимодействия ультразвука с биологическими объектами: Ультразвук в медицине, ветеринарии и экспериментальной биологии*. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана.
- Акопян, В. Б. (2005). *Fundamentals of ultrasound interaction with biological objects: Ultrasound in medicine, veterinary medicine and experimental biology* Moscow: MG TU im. N. E. Bauman.
- Бурак, Л. Ч. (2021). Существующие способы обработки пищевых продуктов и их влияние на пищевую ценность и химический состав. *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК — продукты здорового питания*, (3), 59–73. <https://doi.org/10.24412/2311-6447-2021-3-59-73>
- Burak, L. Ch. (2021). Existing methods of food processing and their impact on nutritional value and chemical composition. *Technologies of the Food and Processing Industry of the Agro-Industrial Complex — Healthy Food Products*, (3), 59–73. <https://doi.org/10.24412/2311-6447-2021-3-59-73>
- Бурмистрова, О. М., Бурмистров, Е. А., & Наумова, Н. Л. (2019). Товарные свойства и качество пищевых куриных яиц. *Аграрный вестник Урала*, (9), 19–29. https://doi.org/10.32417/article_5dadfe3b0c2c43.85705164
- Burmistrova, O. M., Burmistrov, E. A., & Naumova, N. L. (2019). Commercial properties and quality of edible chicken eggs. *Agrarian Bulletin of the Urals*, (9), 19–29. https://doi.org/10.32417/article_5dadfe3b0c2c43.85705164
- Воложанинова, С. Ю., Суворов, О. А., Кузнецов, А. Л., & Посохов, Н. Д. (2015). Использование физико-химических методов обработки с целью продления срока годности, повышения качества и контроля безопасности продуктов питания. *Инженерный вестник Дона*, (3), 4.
- Volozhaninova, S. Y., Suvorov, O. A., Kuznetsov, A. L., & Posokhov, N. D. (2015). The use of physico-chemical methods of processing to extend the shelf life, improve the quality and control the safety of food products. *Engineering Bulletin of Don*, (3), 4.
- Гусейнова, Б. М., Асабутаев, И. Х., & Даудова, Т. И. (2021). Влияние низкотемпературных режимов консервирования на сохранность товарных качеств и нутриентного состава абрикосов с учетом сортовых особенностей и сроков хранения. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (1), 14–29. <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.185>
- Guseynova, B. M., Asabutaev, I. H., & Daudova, T. I. (2021). The impact of low-temperature preservation regimes on the preservation of commercial qualities and nutrient composition of apricots considering varietal characteristics and storage periods. *Storage and processing of agricultural raw materials*, (1), 14–29. <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.185>
- Декань, А. А., Дейнека, И. Г., Соколов, С. А., & Яшонков, А. А. (2022). К вопросу решения задачи формирования пространственного динамического напряженного деформированного состояния камер для комбинированной обработки продуктов питания высоким давлением и ультразвуком. *Вестник*

- Керченского государственного морского технологического университета, (3), 124–142.
- Dekan', A. A., Deineka, I. G., Sokolov, S. A., & Yashonkov, A. A. (2022). On the issue of solving the problem of forming a spatial dynamic stress-strain state of chambers for combined processing of food products by high pressure and ultrasound. *Bulletin of the Kerch State Marine Technological University*, (3), 124–142.
- Катанаева, Ю. А., Соколов, С. А., & Севаторов, Н. Н. (2022). Современное состояние технологий с использованием высокого давления для обработки пищевых продуктов. *Вестник Керченского государственного морского технологического университета*, (3), 143–161.
- Katanaeva, Yu. A., Sokolov, S. A., & Sevatorov, N. N. (2022). The current state of technology using high pressure for food processing. *Bulletin of the Kerch State Marine Technological University*, (3), 143–161.
- Крюкова, Е. В., Колоколова, А. Ю., Илюхина, Н. В., Королёв, А. А., & Левшенко, М. Т. (2019). Перспективы использования комбинированного метода воздействия (СВЧ и релятивистскими электронами) на пищевую продукцию для обеспечения ее микробиологической безопасности. *Пищевая промышленность*, (12), 17–20. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10196>
- Kryukova, E. V., Kolokolova, A. Yu., Ilyukhina, N. V., Korolev, A. A., & Levshenko, M. T. (2019). Prospects of using a combined method of exposure (microwave and relativistic electrons) on food products to ensure its microbiological safety. *Food Industry*, (12), 17–20. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10196>
- Мусина, О. Н., & Коновалов, К. Л. (2016). Радиационная обработка ионизирующим излучением продовольственного сырья и пищевых продуктов. *Пищевая промышленность*, (8), 46–49.
- Musina, O. N., & Konovalov, K. L. (2016). Radiation treatment of food raw materials and food products with ionizing radiation. *Food Industry*, (8), 46–49.
- Прокопенко, И. А., & Кретов, А. А. (2022). Влияние высокого гидростатического давления на микроструктуру мяса цыплят-бройлеров. *Все о мясе*, (1), 44–47. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2022-1-44-47>
- Prokopenko, I. A., & Kretov, A. A. (2022). The effect of high hydrostatic pressure on the microstructure of broiler chicken meat. *All about Meat*, (1), 44–47. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2022-1-44-47>
- Соколов, С. А., & Яшонков, А. А. (2021). Анализ дисперсного состава яичного белка методом микроскопирования. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 48–63. <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.253>
- Sokolov, S. A., & Yashonkov, A. A. (2021). Analysis of the dispersed composition of egg white by microscopy. *Storage and Processing of Farm Products*, (4), 48–63. <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.253>
- Сукманов, В. А., Соколов, С. А., & Декань, А. А. (2008). Аппаратурное обеспечение комбинированного процесса обеззараживания пищевых продуктов. *Вестник Восточнукраинского национального университета им. Владимира Даля*, (2), 328–333.
- Sukmanov, V. A., Sokolov, S. A., & Dekan', A. A. (2008). Hardware support of the combined process of disinfection of food products. *Bulletin of the East Ukrainian National University. Vladimir Dahl*, (2), 328–333.
- Тиганов, В. С. (2007). Ультрафиолетовые технологии санации объектов ветеринарного надзора. *Ветеринарная патология*, (2), 96–100.
- Tiganov, V. S. (2007). Ultraviolet technologies of sanitation of veterinary surveillance facilities. *Veterinary Pathology*, (2), 96–100.
- Флауменбаум, Б. Л. (1993) *Технология консервирования плодов, овощей, мяса и рыбы*. М.: Колос.
- Flaumenbaum, B. L. (1993). *Technology of preserving fruits, vegetables, meat and fish*. Moscow: Kolos.
- Corrales, M., Toepfl, S., Butz, P., Knorr, D., & Tauscher, B. (2008). Extraction of anthocyanins from grape by-products assisted by ultrasonics, high hydrostatic pressure or pulsed electric fields: A comparison. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, (9), 85–91. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2007.06.002>
- Hayashi, R., Kawamura, Y., Nakasa, T., & Okinaka, O. (1989) Application of high pressure to food processing: Pressurization of egg white and yolk, and properties of gel formed. *Agricultural and Biological Chemistry*, 53(11), 2935–2939. <https://doi.org/10.1271/BBB1961.53.2935>
- Knorr, D., & Heinz, V. (1999). *Recent advances in high pressure processing of foods*. Springer.
- Lopez, P., Vercet, A., Sanchez, A. C., & Burgos, J. (1998). Inactivation of tomato pectic enzymes by manothermosonication. *Zeitschrift für Lebensmitteluntersuchung und -Forschung A*, 207, 249–252.
- Plancken, I. V., Loey, A. V., & Hendrickx, M. E. (2005). Combined effect of high pressure and temperature on selected properties of egg white proteins. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 6(1), 11–20. <https://doi.org/10.1016/J.IFSET.2004.10.002>
- Singh, A., Sharma, M., & Ramaswamy, H. S. (2015). Effect of high pressure treatment on rheological characteristics of egg components. *International Journal of Food Properties*, 18(3), 558–571. <https://doi.org/10.1080/10942912.2013.837063>
- Wrigley, D. M., & Llorca, N. G. (1992). Decrease of Salmonella typhimurium in skim milk and egg by heat and ultrasonic wave treatment. *Journal of Food Protection*, 55(9), 678–680. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-55.9.678>