

Оценка смачивающих свойств пероксида водорода в контексте безопасного применения при асептическом розливе молока

Б. В. Маневич, Н. А. Жижин, Е. А. Бурыкина, Е. Н. Титов

Всероссийский
научно-исследовательский
институт молочной
промышленности
(ФГАНУ «ВНИМИ»), Российская
Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение: В системах асептического розлива упаковочные материалы стерилизуются различными методами, чтобы уничтожить микроорганизмы. Одним из самых популярных методов стерилизации упаковочного материала является использование пероксида водорода. Для эффективной инактивации микроорганизмов и однородной обработки поверхности асептической упаковки параметр смачиваемости поверхности играет важную роль. Улучшение смачивающих свойств растворов пероксида водорода путем добавления поверхностно-активных веществ позволит повысить контакт стерильнта с обрабатываемой поверхностью лиофобного многослойного упаковочного материала, обеспечивая необходимую стерилизующую способность и обеззараживающее действие при асептическом розливе молока и молочных продуктов.

Цель: Изучение смачивающих свойств концентрированных растворов пероксида водорода по отношению к различным субстратам и возможности их коррекции поверхностно-активными веществами для обеспечения лучшей смачиваемости упаковки и безопасных режимов ее обеззараживания.

Материалы и методы: Объектами исследований являлись: дезинфицирующая субстанция и стерильнт — пероксид водорода, поверхностно-активные вещества, используемые в качестве технологических вспомогательных средств на предприятиях пищевой промышленности и комбинированные многослойные упаковочные материалы на основе бумаги, картона, алюминиевой фольги и полимерных материалов, используемые в процессах асептического розлива молока. Смачивающую способность оценивали по краевому углу смачивания в 3-х фазной системе: адгезив (пероксид водорода, вода, растворы ПАВ) — субстрат (упаковочный материал, стальная пластина, стекло) — воздух методом лежащей капли по методу Юнга-Лапласа; поверхностное натяжение оптическим методом висящей капли с помощью прибора DSA25S; поверхностное натяжения растворов от температуры в диапазоне 30–70 °C определяли методом наибольшего давления образования пузырьков. Наличие остаточных количеств смачивателя ПАВ-полисорбата на упаковочном материале, подвергнутом стерилизации проводили методом ВЭЖХ.

Результаты: Упаковочный материал Tetra Brik® Aseptic обладает выраженными лиофобными свойствами. Введение в раствор пероксида водорода (~35 % о.в.) 0,1 % ПАВ-полисорбата позволила снизить краевой угол смачивания более чем на 50 %, с 93,75 ° до 40,99 °, существенно снизить показатель поверхностного натяжения на (45–48 %).

Выводы: Улучшение смачивающих свойств растворов пероксида водорода позволит улучшить контакт стерильнта с обрабатываемой поверхностью лиофобного многослойного упаковочного материала за счет добавления поверхностно-активного вещества, обеспечивая необходимую стерилизующую способность и обеззараживающее действие при асептическом розливе молока и молочных продуктов. Режимы применения растворов пероксида водорода с введением 0,1 % НПАВ-полисорбата в условиях асептического розлива с позиций эффективности обеззараживания упаковочного материала и безопасности, связанной с удалением его остаточных количеств, позволяют рассматривать его как технологическое вспомогательное вещество.

Ключевые слова: пероксид водорода; стерилизация упаковочного материала; смачивание поверхности; поверхностно-активное вещество; химическая контаминация

Корреспонденция:

Маневич Борис Владиленович,

Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности (ФГАНУ «ВНИМИ»), г. Москва, Люсиновская 35, корп. 7
e-mail: b_manevich@vnimi.org

Конфликт интересов:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 10.01.2023

Принята: 23.03.2023

Опубликована: 30.09.2023

Copyright: © 2023 Авторы



Для цитирования: Маневич, Б.В., Жижин, Н.А., Бурыкина, Е.А., & Титов, Е.Н. (2023). Оценка смачивающих свойств пероксида водорода в контексте безопасного применения при асептическом розливе молока. *FOOD METAENGINEERING*, 1(2), 54-65. <https://doi.org/10.37442/jeac.2022.2.21>

Evaluation of Hydrogen Peroxide Wetting Properties in the Context of Safe Application in Aseptic Milk Filling

Boris V. Manevich, Nikolay A. Zhizhin, Elena A. Burykina, Evgeny N. Titov

ABSTRACT

Introduction: In aseptic filling systems, packaging materials are sterilized using various methods to eliminate microorganisms. One of the most popular methods for sterilizing packaging materials is the use of hydrogen peroxide. The wetting property of the surface plays a crucial role in ensuring effective inactivation of microorganisms and uniform treatment of the aseptic packaging. Improving the wetting properties of hydrogen peroxide solutions by adding surfactants will enhance the contact of the sterilant with the lyophobic multilayer packaging material's treated surface, providing the necessary sterilizing ability and disinfectant action during the aseptic filling of milk and dairy products.

Purpose: To study the wetting properties of concentrated hydrogen peroxide solutions on various substrates and the possibility of their correction with surfactants to ensure better packaging wetting and safe disinfection processes.

Materials and Methods: The objects of the study included the disinfecting substance and sterilant — hydrogen peroxide, surfactants used as technological aids in the food industry, and combined multilayer packaging materials based on paper, cardboard, aluminum foil, and polymer materials used in aseptic milk filling processes. Wetting ability was evaluated by the contact angle in a 3-phase system: adhesive (hydrogen peroxide, water, surfactant solutions) — substrate (packaging material, steel plate, glass) — air using the drop shape analysis based on the Young-Laplace method; surface tension was determined by the optical drop shape analysis using the DSA25S device; surface tension of solutions at temperatures ranging from 30 to 70 °C was determined using the maximum bubble pressure method. The presence of residual amounts of the surfactant polysorbate on the sterilized packaging material was analyzed by HPLC.

Results: The Tetra Brik® Aseptic packaging material exhibits pronounced lyophobic properties. The introduction of 0.1 % polysorbate surfactant into the hydrogen peroxide solution (~35 % w/w) reduced the contact angle by more than 50 %, from 93.75° to 40.99°, and significantly decreased the surface tension (45–48 %).

Conclusion: Improving the wetting properties of hydrogen peroxide solutions will enhance the contact of the sterilant with the treated surface of the lyophobic multilayer packaging material by adding a surfactant, ensuring the necessary sterilizing ability and disinfectant action during the aseptic filling of milk and dairy products. The application conditions of hydrogen peroxide solutions with the addition of 0.1 % nonionic surfactant polysorbate in aseptic filling, considering both effectiveness in disinfecting packaging material and safety related to the removal of its residual amounts, allow considering it as a technological aid.

Keywords: hydrogen peroxide; packaging material sterilization; surface wetting; surfactant; chemical contamination

Correspondence:

Manevich Boris Vladilenovich,
All-Russian Scientific Research
Institute of Dairy Industry (Federal
State Autonomous Scientific
Institution «VNIIMI»),
35 Lyusinovskaya, Building 7,
Moscow, Russian Federation.
e-mail: b_manevich@vniimi.org

Conflict of interest:

The authors report the absence of a conflict of interest.

Received: 10.01.2023

Accepted: 23.03.2023

Published: 30.03.2023

Copyright: © 2023 The Authors



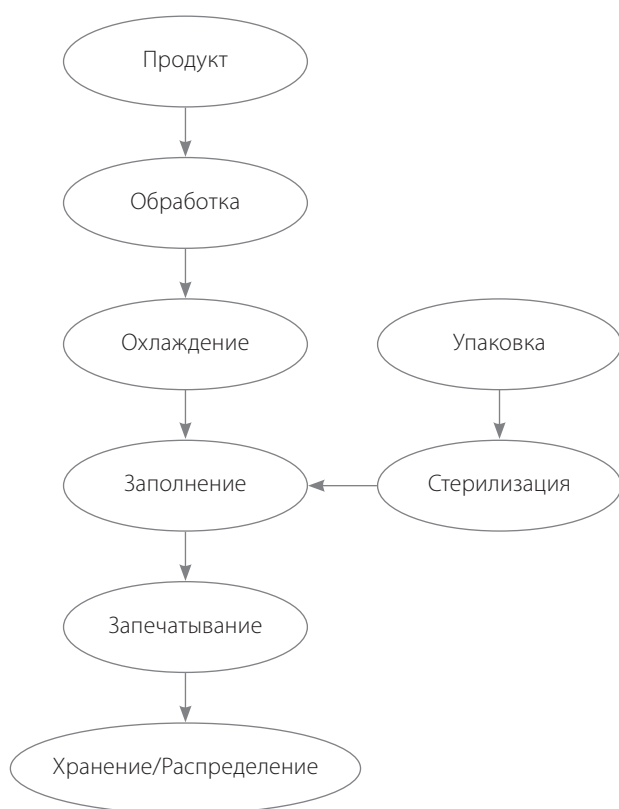
To cite: Manevich, B.V., Zhizhin, N.A., Burykina, E.A., & Titov, E.N. (2023). Evaluation of hydrogen peroxide wetting properties in the context of safe application in aseptic milk filling. *FOOD METAENGINEERING*, 1(2), 54-65. <https://doi.org/10.37442/fme.2023.2.21>

ВВЕДЕНИЕ

Упаковка играет важную роль в процессе производства пищевых продуктов. Это создает удобство при использовании продукта, обеспечивает безопасность от контаминации микроорганизмами, биологических и химических изменений, что в свою очередь обеспечивает длительный срок хранения упакованных продуктов. Чтобы удовлетворить спрос на обработанные пищевые продукты с длительным сроком хранения в пищевой промышленности используются различные методы упаковки, одним из которых является асептическая упаковка. Асептическая упаковка — это технология, в процессе которой продукт и тара стерилизуются отдельно, затем продукт в стерильных условиях упаковывают. Типовая схема процесса упаковки представлена на Рисунке 1.

Рисунок 1

Блок-схема системы асептической упаковки



Асептическая упаковка дает преимущества как потребителю, так и каналам сбыта, что связано с уменьшением затрат на доставку и хранение, увеличением сроков годности, снижением нагрузки на холодильные камеры, исключением применения различных консервантов и, как следствие — экономическая эффективность.

Наибольшее распространение при обеззараживании упаковочных материалов получил метод химической стерилизации растворами пероксида водорода (Jildeh, 2020), обработка озоном (Khadre, 2001), смесью пероксида водорода (H_2O_2) и надуксусной кислоты (Gonzalez-Aguilar, 2012) и кроме этого используют физические методы: термический (Deeth, 2017), ультрафиолетовое (УФ-) (Chiozzi, 2022) или инфракрасное (ИК-) облучение (Федотова, 2008).

Асептическую упаковку чаще всего используют для продуктов следующих категорий:

- молочная продукция, молоко — 65%;
- соки, безалкогольные напитки — 25%;
- жидкие продукты питания (супы, пасты, соусы) — 10%¹.

При производстве молочных продуктов с длительным сроком хранения требуется не только проведение качественной мойки и дезинфекции, но и реализация асептического производства, подразумевающая стерилизацию всех задействованных в этом процессе объектов окружающей среды. Соответственно, при асептическом производстве продукции существует несколько контролируемых асептических зон, одна из которых — стерилизация упаковки.

К процессу асептической упаковки и химической стерилизации упаковочного материала предъявляются следующие требования:

- быстрая антимикробная активность;
- совместимость с обрабатываемыми поверхностями, особенно с упаковочным материалом и оборудованием;
- легкое удаление с обработанной поверхности стерильнта или его минимально допустимый остаток;
- безопасность для здоровья потребителя;
- отсутствие отрицательного влияния на качество продукта в случае неизбежного остатка или ошибочно высокой концентрации;

¹ Мамаев, А. (2021). Тара и упаковка молочных продуктов. Практическое руководство: учебное пособие для СПО. 3-е изд. Лань.

- безопасность для здоровья обслуживающего персонала, обслуживающего упаковочное оборудование;
- экологическая безопасность;
- отсутствие коррозионной активности стерильанта по отношению к контактным поверхностям;
- надежность и экономичность средства обеззараживания (Хамидуллина, 2020).

Стерилизацию упаковочного материала в полной мере следует отнести к одной из критических контрольных точек в зоне асептического производства в целом и технологическом процессе асептического розлива молока в частности. На Рисунке 2 показаны ключевые факторы, которые необходимо контролировать для успешного результата данного процесса: доказанная эффективность используемого стерильанта, концентрация активного действующего вещества в растворе, хорошая смачиваемость обеззараживаемой поверхности стерильантом, время обеззараживания (экспозиция) и температура обработки.

Пероксид водорода в настоящее время является одним из самых востребованных химических стерильантов, используемых для стерилизации упаковочных материалов, доказавший свою эффективность. В основе противомикробного действия перекиси водорода лежит ее окислительный потенциал (Маневич, 2018). Антимикробная активность пероксида водорода при комнатной температуре относительно невелика (Nadruz, 2023), но может быть значительно увеличена путем

повышения либо температуры до 85–90°C, либо её концентрации по основному веществу (о.в.). Температурный фактор играет важную роль в проявлении различных свойств пероксида водорода (Abidullah, 2019), что отчасти можно объяснить эмпирическим правилом химической кинетики Вант-Гоффа.

В большинстве систем асептической фасовки и розлива используется H_2O_2 в концентрации от 30% до 37% с последующей обработкой горячим стерильным воздухом (60–125 °C) для усиления стерилизующего эффекта и удаления остаточных количеств H_2O_2 . На эффективность пероксида водорода в качестве дезинфектанта и стерильанта влияют температура, продолжительность обработки, значение pH пероксида водорода, концентрация, количество, нанесенное на упаковочный материал на единицу площади, температура и количество сушильного воздуха, микробная нагрузка и присутствующие виды организмов (Chavan, 2016), а так же примеси содержащихся в самой перекиси (сухой остаток), что особенно актуально при образовании трудно-удаляемого осадка на испарителе.

Об используемых в молочной промышленности способах обработки упаковки, преимуществах и недостатках, свойственных каждому из них, достаточно подробно сообщалось в работах (Федотова, 2006), (Мяленко, 2020), (Фильчакова, 2008) специалистов ВНИМИ Федотовой О.Б., Мяленко Д.М., Фильчаковой С.А. Ими отмечается рациональность, прогрессивность и тех-

Рисунок 2

Контролируемые факторы в процессах стерилизации упаковочного материала



нологичность асептического типа обеззараживания тары и упаковки, как процесса химической, а зачастую, в комбинации с физическими факторами, стерилизации при розливе и фасовке продукции.

Существует три основных способа нанесения перекиси водорода на упаковочные материалы: погружение, распыление и ополаскивание.

Погружение: упаковочный материал снимают с катушки и погружают в ванну с водным раствором 30–33 % перекиси водорода. Избыток раствора удаляется с помощью отжимных валиков или струй воздуха после удаления материала из ванны, в результате чего остается тонкая пленка раствора, который затем высушивается с помощью горячего воздуха. Иногда для обеспечения равномерного смачивания поверхностей рекомендуется добавлять смачивающие агенты. Для повышения эффективности, особенно в случае запыленного или слегка загрязненного материала, может быть добавлена предварительная обработка материала вращающимися щетками, стерильными струями сжатого воздуха или ультразвуком, воздействующим на ванну со стерильным (Toledo, 1986).

Распыление — это метод для предварительно сформированных контейнеров, при котором перекись водорода распыляется в контейнер в виде небольших диспергированных капель. Распыление не дает когезионного эффекта из-за гидрофобных свойств пластика, так как при этом покрывается только 30–40 % внутренних поверхностей контейнера, что не обеспечивает необходимого качества обеззараживания и стерильности материала. Обычный распылитель дает на поверхности капли диаметром более 30 мкм, при этом покрывается только 30–40 % площади поверхности. Ультразвуковую систему можно использовать для получения частиц диаметром всего 3 мкм, что обеспечит среднее покрытие поверхности около 60 %. Распределение капель по размерам от 2 до 80 мкм и распределение капель на внутренних поверхностях контейнеров различной геометрической формы являются проблематичными. Эффективность зависит от объема распыляемого раствора; однако, чем больше объем, тем дольше время высыхания. Сушку необходимо проводить горячим стерильным воздухом. Усовершенствованные аэрозоль-

ные распылители позволяют получать размер капель до 2–4 мкм, наносить уменьшенный объем раствора перекиси и, соответственно, сократить время высыхания. Этот метод заменяется использованием смеси горячего воздуха и испаренной перекиси. Стерилизация парами перекиси водорода является экономически эффективной альтернативой, поскольку используется наименьшее количество перекиси водорода. При этом количество перекиси водорода, адсорбированного на обработанной поверхности из паровой фазы, будет на несколько порядков меньше, чем из жидкой пленки. Поэтому промывка обработанной паром поверхности низкотемпературным стерильным воздухом, не содержащим паров перекиси водорода, может эффективно удалить остатки (Hedrick, 1973).

Ополаскивание: сборные емкости сложной формы, для которых процесс распыления непригоден, можно ополаскивать 30–33 % водным раствором перекиси водорода. Для стерилизации при температуре окружающей среды ее можно комбинировать с надуксусной кислотой (НУК), проявляющей с позиций антимикробной эффективности синергетический эффект (Маневич, 2018). Контейнеры осушают, дают высохнуть, а затем полностью высушивают горячим стерильным воздухом. Таким образом обрабатываются стеклянные контейнеры, металлические банки и выдувные пластиковые бутылки (Hedrick, 1973).

К качеству перекиси водорода, используемого на линиях асептического розлива и упаковки пищевых сред, предъявляются гораздо более жесткие требования, чем к медицинской и технической (марок А и Б) перекиси.

Основные нормируемые физико-химические характеристики перекиси водорода, квалифицируемого по качеству как пищевой, асептический или упаковочный представлены в Таблице 1 на основании спецификации компании «Tetra Pak» и сертификатов качества некоторых изготовителей (поставщиков), присутствующих на российском рынке перекиси водорода.

Среди свойств растворов перекиси водорода (концентрация ~35 % о.в.) при 20 °С необходимо отметить более высокое поверхностное натяжение ($\sigma = 78\text{--}79 \text{ мН/м}$)¹ по сравнению с водой ($\sigma = 72 \text{ мН/м}$)² и, связанная с этим, недостаточная смачивающая способность. Для

¹ Равдель А., Пономарева А. (1983). *Краткий справочник физико-химических величин* (изд. 8, с. 20–21). Л: Химия.

² Там же.

Таблица 1

Спецификации пероксида водорода для асептического розлива и фасовки различных производителей и поставщиков

Показатели	Значения			
	Tetra Pak	Eka HP A35	IPEROX-FG	IPEROX — TETRA
Концентрация, о.в. %	30,0–40,0	35,0–35,5	35,0–35,8	35,0–40,0 35,0–35,8 ^{*5}
Плотность (20 °С), г/см ³	1,132–1,153	1,130–1,135	1,132–1,135	1,132–1,135
Стабильность, (при 96 °С) %	≤ 5 ^{*1}	≤ 3 ^{*2}	≤ 3 ^{*3}	< 1 ^{*4}
Кислотность (в пересчете на H ₂ SO ₄), %	0,02–0,04	0,05	0,03	0,05
Фосфаты, мг/дм ³	< 80	≤ 80	< 50	< 50
Хлориды, мг/дм ³	< 1	≤ 1	—	≤ 1
Железо, мг/дм ³	—	≤ 0,1	0,5	≤ 0,5
Удельная электрическая проводимость, мкСм/см	> 50	—	—	≥ 130 60–90 ^{*5}
Нелетучие вещества (сухой остаток), ppm	< 150	≤ 150	60	60

Примечание. ^{*1} — при 96 °С; ^{*2} — при 95 °С; ^{*3} — при 100 °С; ^{*4} — при 96 °С; ^{*5} — отличия в спецификациях на пероксид водорода торговой марки IPEROX — TETRA разных поставщиков.

повышения смачивающих свойств пероксида водорода могут использоваться различные поверхностно-активные вещества, например, этоксилированные спирты и/или жирные кислоты, лауретсульфат натрия, катионные ПАВ (КПАВ) — четвертичные аммониевые соединения, полиглюкозиды, полиоксиэтиленсорбитаны и другие. Введение в состав некоторых ПАВ, в первую очередь — катионных, может повлиять на повышение антимикробной активности перекиси водорода, о чем говорится в Федеральных клинических рекомендациях по выбору дезинфицирующих средств¹. ПАВ в широком смысле — это вещества, проявляющие свойства адсорбатов на поверхностях раздела двух фаз и растворы которых способствуют снижению поверхностного (межфазного) натяжения, помогают увеличить адгезию между раствором и поверхностью упаковочного материала, что будет способствовать лучшему смачиванию.

Целью данной работы являлось улучшение смачивающей способности растворов пероксида водорода для обеспечения полного контакта с обеззараживаемой поверхностью добавлением в состав поверхностно-активных веществ (ПАВ) с последующим удалением с поверхности упаковочного материала.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования

Добавление ПАВ к растворам пероксида водорода может не только улучшить её смачивающие свойства, повлиять на эффективность обеззараживания упаковочного материала, но и стать потенциальным источником химической контаминации упаковываемой продукции. Поэтому основными критериями при выборе ПАВ рассматривались токсикометрические показатели, смачивающая способность по отношению к исследуемым упаковочным материалам (субстратам), проявление антимикробных свойств и совместимость с концентрированными растворами пероксида водорода. Предпочтение было отдано ПАВ, в том числе неионогенным (НПАВ) из группы полисорбатов, используемым в качестве технологических вспомогательных средств (веществ) на предприятиях пищевой промышленности по ТР ТС 029/2012.

В качестве функциональных компонентов для улучшения смачивающих свойств концентрированных растворов пероксида водорода использовали различные ПАВ (см. Таблицу 2).

¹ Шестопалов, Н. Пантелеева Л., Соколова Н., Абрамова И., & Лукичев С. (2015). Федеральные клинические рекомендации по выбору химических средств дезинфекции и стерилизации для использования в медицинских организациях. Москва.

² ТР ТС 029/2012 Технический регламент Таможенного союза «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств»: [принят Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 20 июля 2012 года № 58]. (Источник: ИСС «ТЕХЭКСПЕРТ»)

Таблица 2

Карта образцов выбранных ПАВ

Обозначение образца	Наименование
1	НПАВ из группы полисорбатов (Е433, полиоксиэтилен сорбитан моноолеат)
2	Глицерол (Е422, 1,2,3-пропантриол)
3	Пропиленгликоль (Е1520, пропан-1,2-диол)
4	Сорбитол (Е420, глюцит)
5	КПАВ — цетилпиридиний хлорид (ТР ТС 029/2012, приложение 25)

Оборудование и процедура исследования

Смачивающую способность оценивали по краевому углу смачивания (КУС, θ) в 3-х фазной системе: адгезив (пероксид водорода, вода, растворы ПАВ) — субстрат (упаковочный материал TetraBrik®Aseptic, стальная пластина, стекло) — воздух методом лежащей капли по методу Юнга-Лапласа (Директор, 2010), а поверхностное натяжение (ПН) оптическим методом висящей капли с помощью прибора DSA25S (Krüss Optronic GmbH, Германия) и программного обеспечения KrüssAdvance 1.12.2.06901 (Аристов, 2016).

Количественное содержания остаточных веществ на упаковочном материале определяли методом ВЭЖХ. Был использован жидкостной хроматограф «Маэстро» (Россия), оснащенный системой градиентного элю-

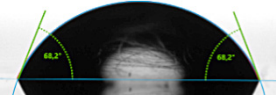



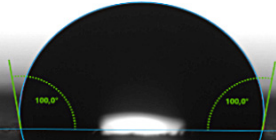
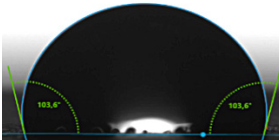
ирования, термостатом колонок и диодно-матричным детектором. Разделение проводили на колонке ZORBAXExtend C18 250 × 4,6 мм (Agilent, США). Условия хроматографирования были следующими: элюент А — ацетатный буфер (pH-4,3), элюент Б — ацетонитрил. Элюирование проводилось в градиентном режиме: начальное соотношение элюента А к элюенту Б 95:5 (V/V), далее за 30 минут соотношение элюента А к элюенту Б переходит в соотношение 30:70 (V/V). После чего за 6 минут возвращаемся к начальным условиям 95:5. Скорость потока подачи элюента — 1 мл/мин. Температура термостата колонок 35 °С.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Контактное смачивание поверхности характеризуется углом контакта или краевым углом смачивания (КУС). Растеканию адгезива по поверхности субстрата и хорошему смачиванию противодействует сила, связанная со множеством факторов, но одними из ведущих являются вязкость адгезива и степень шероховатости субстрата — поверхности твердого материала. Шероховатость контактных поверхностей и их гидрофильные/гидрофобные свойства играют немаловажную роль в физической составляющей процесса адгезии (Маневич, 2020). Установлена смачивающая способность адгезивов (концентрированных растворов пероксида водорода и дистиллированной воды) различных субстратов (тест-поверхностей) при температуре 23 ± 1 °С.

Таблица 3

КУС дистиллированной водой и раствором пероксида водорода различных субстратов при $t = 23 \pm 1$ °С

Субстрат	Краевой угол смачивания (КУС) адгезивов, °	
	Вода дистиллированная (ГОСТ Р 58144–2018)	Пероксид водорода (35,5 ± 1,5% о.в.)
Сталь нерж.	68,2 ± 1,1 	73,0 ± 0,8 
Стекло	49,8 ± 0,6 	56,5 ± 1,0 
Упаковочный материал	100,0 ± 0,7 	103,6 ± 1,2 

Представленные результаты (см. Таблица 3) наглядно демонстрируют, что растворы пероксида водорода хуже смачивают поверхности тестируемых материалов, что может быть связано с более высоким значением поверхностного натяжения (σ) препарата при 20°C, составляющего 79–80 мН/м по сравнению с водой ($\sigma = 72$ мН/м)¹. Улучшение смачиваемости, снижение КУС и поверхностного натяжения может быть достигнуто введением в состав поверхностно-активных веществ.

В дистиллированную воду и в концентрированные растворы пероксида водорода (~35,2 % о.в.), находящиеся в стерильных емкостях, вводили по 0,1 % (о.в.) представленных выше образцы ПАВ (Таблица 2).

На субстратах (нержавеющая сталь, стекло, упаковочный материал TetraBrik®Aseptic) определяли КУС водных растворов (H₂O) с введенными ПАВ и растворов пероксида водорода (H₂O₂) с ПАВ. Смачивающая способность, характеризующаяся КУС данных адгезивов, представлена в Таблице 4.

Таблица 4

КУС адгезивов на субстратах при $t = 23 \pm 1$ °C

Адгезив	КУС на субстратах, °		
	Сталь нерж.	Стекло	Упак. материал
H ₂ O + 1	58,68 ± 1,34	28,58 ± 1,02	65,04 ± 1,00
H ₂ O + 2	69,45 ± 0,87	26,87 ± 0,64	91,31 ± 0,84
H ₂ O + 3	71,14 ± 0,82	34,16 ± 0,82	99,05 ± 0,71
H ₂ O + 4	68,14 ± 1,31	26,68 ± 0,71	100,87 ± 0,92
H ₂ O + 5	63,37 ± 1,66	38,46 ± 0,73	88,91 ± 1,02
H ₂ O ₂ (35,2 % о.в.)	72,53 ± 0,82	54,36 ± 0,54	93,75 ± 1,00
H ₂ O ₂ + 1	43,90 ± 1,15	22,52 ± 0,33	40,99 ± 2,21
H ₂ O ₂ + 2	64,30 ± 0,36	32,47 ± 0,26	82,43 ± 1,50
H ₂ O ₂ + 3	71,11 ± 0,32	32,76 ± 0,28	93,00 ± 0,74
H ₂ O ₂ + 4	56,60 ± 0,31	34,24 ± 0,25	88,56 ± 0,55
H ₂ O ₂ + 5	56,42 ± 0,74	24,68 ± 0,44	62,05 ± 2,43

Влияние вводимых веществ на смачиваемость адгезивов проявляется по-разному. Наилучшая смачиваемость у всех растворов отмечена в отношении стекла, а на поверхности из нержавеющей стали введение ПАВ проявилось различно. Введение (0,1 %) глицерола и пропиленгликоля в воду незначительно, но увеличили КУС и, соответственно, ухудшили смачиваемость. Несмотря на то, что у этих веществ поверхностное натяжение су-

щественно ниже, чем у воды и пероксида водорода и их можно отнести к ПАВ, они увеличивают КУС, что связано, по-видимому, с их выраженными гигроскопичными свойствами. Сорбитол в растворах проявляет свойства многоатомных спиртов и являясь основным сырьевым компонентом в производстве полисорбатов, не оказал влияние на улучшение смачиваемости тестируемых субстратов, что вероятно можно объяснить его осмотическим действием. Цетилпиридиний хлорид, являясь бактерицидной субстанцией, улучшает смачивающую способность, но не существенно, как большинство катионных ПАВ, проявляющих часто свойства антистатиков. Образец 1 — полиоксиэтилен сорбитан моноолеат из тестируемых ПАВ проявил наилучшие смачивающие свойства в водных растворах и в растворе пероксида водорода на всех субстратах, в том числе на лиофобных поверхностях упаковочных материалов. Введение в раствор пероксида водорода 0,1 % этого полисорбата позволило снизить краевой угол смачивания более чем на 50 %, с 93,75° до 40,99°.

Концентрацию 0,1 % полиоксиэтилен сорбитан моноолеата в растворе пероксида водорода стоит считать рациональной с позиций обеспечения смачиваемости лиофобной поверхности и минимального содержания данного ПАВ в растворе, соприкасающегося с поверхностью упаковочного материала, непосредственно контактирующего с пищевым продуктом. Оценка смачиваемости по КУС субстратов растворами пероксида водорода (~35,2 % о.в.) с различным содержанием (0,05–0,30 %) полиоксиэтилен сорбитан моноолеата приведена на Диаграмме 1.

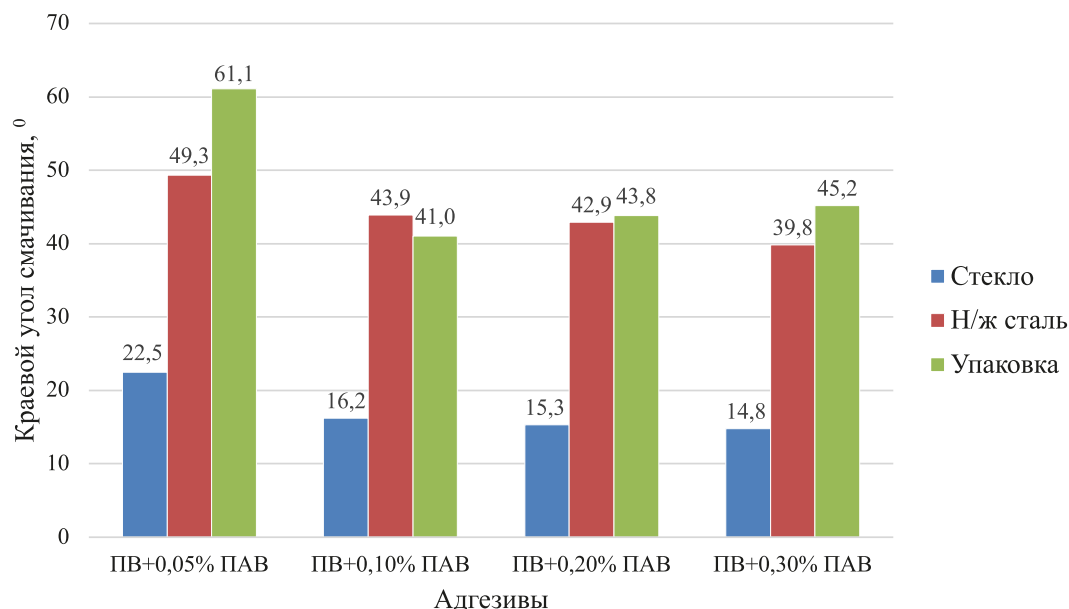
Процесс химической дезинфекции и стерилизации упаковочного материала, непосредственно контактирующего после обработки с готовым продуктом, связан с опасностью химической контаминации продукции (Маневич, 2023). В контексте выпуска качественной и безопасной продукции и исключения возможности химической контаминации были проанализированы образцы упаковочного материала TetraBrik®Aseptic, подвергнутые обработке раствором пероксида водорода (35 % о.в.) с добавлением 0,1 % НПАВ-полисорбата (полиоксиэтилен сорбитан моноолеата).

Неформованное плоское полотно упаковочного материала TetraBrik®Aseptic было подвергнуто обеззаражи-

¹ Равдель А., Пономарева А. (1983). *Краткий справочник физико-химических величин* (изд. 8, с. 20–21). Л: Химия.

Диаграмма 1

Смачиваемость субстратов



Примечание. Смачиваемость субстратов (стекло, нержавеющая сталь, упаковочный материал) растворами пероксида водорода с различным содержанием НПАВ-полисорбата (при $t = 22 \pm 1^\circ\text{C}$)

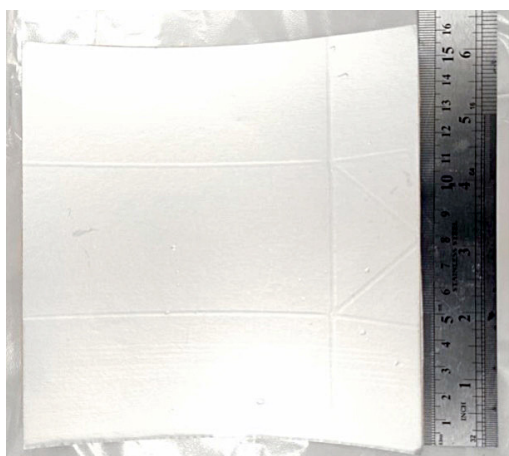
ванию раствором пероксида водорода в концентрации ~35 % о.в. при температуре 60–70°C в течение ~7 секунд. В раствор пероксида водорода в качестве функциональной добавки, улучшающей смачиваемость, был введен 0,1 % НПАВ-полисорбата. После химической обработки осуществлялся обдув горячим воздухом и формировалась упаковка в виде пакета.

После обработки упаковка была разделена на 4 равные части размером 15,5 × 13,5 см (см. Рисунок 3А). Далее каждая из частей была измельчена и помещена в четыре стерильные пробирки емкостью 50 см³ (см. Рисунок 3 Б).

После чего была проведена экстракция аналита (раствора ПВ с НПАВ) посредством добавления 20 см³ аце-

Рисунок 3

Подготовка обеззараженного упаковочного материала к анализу



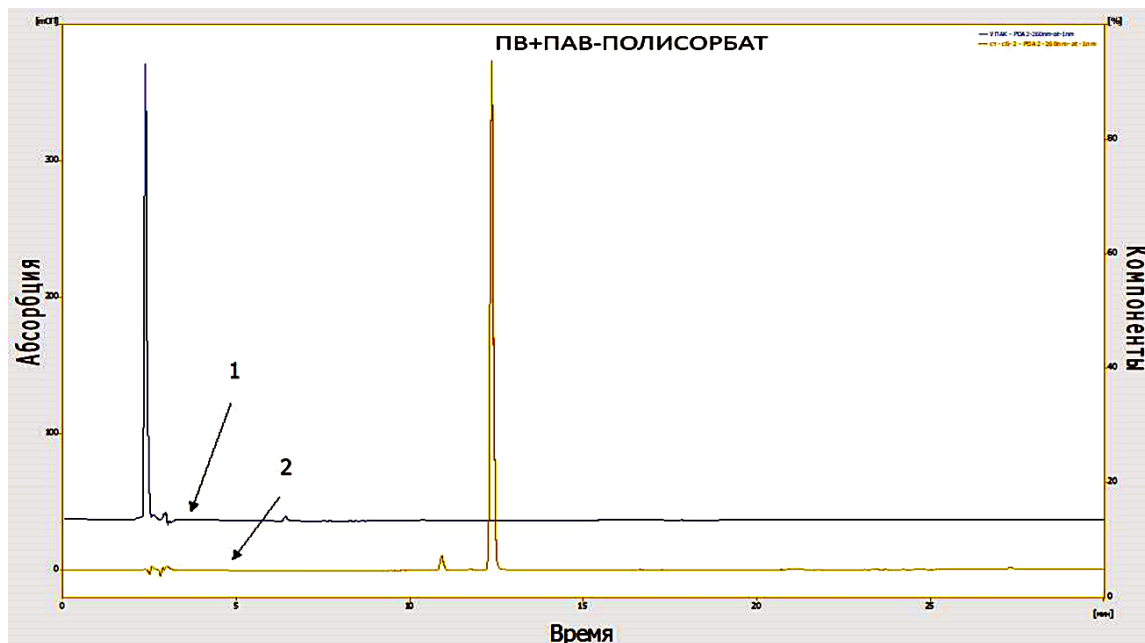
А



Б

Рисунок 4

Результат хроматографического анализа



Примечания. 1 — хроматограмма анализируемого экстракта; 2 — хроматограмма раствора пероксида водорода с ПАВ-полисорбатом

татного буфера pH = 4,3 ед. Экстракция проводилась последовательно одним и тем же раствором. Далее полученный раствор анализировали методом ВЭЖХ. Результаты хроматографического анализа приведены на Рисунке 4.

Согласно полученным результатам, содержание ПАВ-полисорбата в анализируемом растворе ниже предела обнаружения методики и составляет менее 0,05 мг/дм³. На основании этих данных можно сделать заключение о том, что введение 0,1 % ПАВ-полисорбата в раствор пероксида водорода (~35 % о.в.) не выступит в роли химического загрязнителя и не окажет негативного влияния на качество выпускаемой молочной продукции.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволяют сделать заключение о том, что упаковочный материал Tetra Brik® Aseptic обладает выраженными лиофобными свойствами. Введение в раствор пероксида водорода (~35 % о.в.) 0,1 % ПАВ-полисорбата позволило снизить краевой угол смачивания более чем на 50 %, с 93,75° до 40,99°, существенно снизить показатель поверхностного на-

тяжения на (45–48 %) и сделать заключение, что эта функциональная добавка не выступит в роли химического загрязнителя и не окажет негативного влияния на качество выпускаемой молочной продукции. Режимы применения данного функционального компонента в условиях асептического розлива с позиций эффективности обеззараживания упаковочного материала и безопасности, связанной с удалением его остаточных количеств, позволяют рассматривать его как потенциальное технологическое вспомогательное вещество на молочных предприятиях.

В дальнейших исследованиях планируется изучить стабильность исследуемых образцов (НПАВ+H₂O₂), а также возможность снижения концентрации пероксида водорода без потери эффективности.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Маневич Борис Владиленович: концептуализация, разработка методологии исследования, работа с программным обеспечением, визуализация, проведение исследования, написание-рецензирование и редактирование рукописи.

Жижин Николай Анатольевич: проведение исследования, работа с программным обеспечением, визуализация.

Бурыкина Елена Александровна: написание — подготовка черновика рукописи.

Титов Евгений Николаевич: написание-рецензирование и редактирование рукописи, визуализация.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Аристов А., Носова Е., & Солдатов А. (2016). Применение метода фотометрии лежащих капель для задач клинической лабораторной диагностики. *Медицинская техника*, 5, 19–22. <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/37409>
- Aristov A., Nosova E., & Soldatov A. (2016). Application of the method of photometry of sessile drops for clinical laboratory diagnostics tasks. *Medical Technique*, 5, 19–22. (In Russ.) <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/37409>
- Директор Л., Зайченко В., & Майков И. (2010). Усовершенствованный метод лежащей капли для определения поверхностного натяжения жидкостей. *Теплофизика высоких температур*, 48(2), 193–197. <http://dx.doi.org/10.1134/S0018151X10020069>
- Direktor L., Zaychenko V., & Maykov I. (2010). Improved method of sessile drop for determining the surface tension of liquids. *High Temperature Thermophysics*, 48(2), 193–197. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.1134/S0018151X10020069>
- Маневич, Б. (2023). Актуальность удаления остаточных количеств кислорода-активных дезинфицирующих средств с контактных поверхностей молочного оборудования. *Пищевая промышленность*, 2, 40–43. <http://dx.doi.org/10.52653/PPI.2023.2.2.009>
- Manevich, B. (2023). The relevance of removing residual amounts of oxygen-active disinfectants from contact surfaces of dairy equipment. *Food Industry*, 2, 40–43. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.52653/PPI.2023.2.2.009>
- Маневич, Б., Кузина Ж., & Косьяненко Т. (2018). Безопасное использование высокоэффективных дезинфицирующих средств на пищевых предприятиях. XII Международная научно-практическая конференция «Безопасность и качество товаров» (с. 218–230). Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова.
- Manevich, B., Kuzina Zh., & Kosyanenko T. (2018). Safe use of highly effective disinfectants at food enterprises. XII International Scientific and Practical Conference «Safety and Quality of Goods» (pp. 218–230). Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. (In Russ.)
- Маневич, Б., Кузина Ж., & Косьяненко Т. (2020). Значение шероховатости контактной поверхности при производстве функциональных продуктов на молочной основе оборудования. *Молочная промышленность*, 11, 54–56. <http://dx.doi.org/10.31515/1019-8946-2020-11-54-56>
- Manevich, B., Kuzina Zh., & Kosyanenko T. (2020). The importance of surface roughness in the production of functional dairy-based products. *Dairy Industry*, 11, 54–56. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.31515/1019-8946-2020-11-54-56>
- Маневич, Б., Кузина Ж., & Косьяненко Т. (2018). Эффективная и безопасная дезинфекция — гарантия качества молочной продукции. *Контроль качества продукции*, 5, 58–61.
- Manevich, B., Kuzina Zh., & Kosyanenko T. (2018). Effective and safe disinfection — a guarantee of the quality of dairy products. *Quality Control of Products*, 5, 58–61. (In Russ.)
- Мяленко, Д. (2020). Влияние термического, радиационно-химического и фотометрического воздействия на деструкцию и «старение» полимерных материалов. *Актуальные вопросы молочной промышленности, межотраслевые технологии и системы управления качеством*, 1(1), 406–411. <http://dx.doi.org/10.37442/978-5-6043854-1-8-2020-1-406-411>
- Myalenko, D. (2020). The effect of thermal, radiation-chemical, and photometric impact on the destruction and «aging» of polymeric materials. *Current Issues of the Dairy Industry, Intersectoral Technologies, and Quality Management Systems*, 1(1), 406–411. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.37442/978-5-6043854-1-8-2020-1-406-411>
- Федотова, О., Мяленко, Д. (2006). Способы обеззараживания упаковочных материалов и тары при асептическом розливе молочной продукции. *Сборник материалов научных чтений с международным участием, посвященных 100-летию со дня рождения профессора П. Ф. Дьяченко*

- (с. 147–150). Московский государственный университет печати (МГУП).
- Fedotova, O., Myalenko, D. (2006). Methods of disinfecting packaging materials and containers during aseptic filling of dairy products. *Collection of materials from scientific readings with international participation, dedicated to the 100th anniversary of the birth of Professor P.F. Dyachenko* (pp. 147–150). Moscow State University of Printing Arts (MGUP). (In Russ.)
- Федотова, О. (2008). Упаковка для молока и молочных продуктов. Качество и безопасность. Россельхозакадемии.
- Fedotova, O. (2008). Packaging for milk and dairy products. *Quality and safety*. Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy. (In Russ.)
- Фильчакова, С. (2008). Микробиологическая чистота упаковки для молочных продуктов. *Молочная промышленность*, 7, 44.
- Filchakova, S. (2008). Microbiological purity of packaging for dairy products. *Dairy Industry*, 7, 44. (In Russ.)
- Хамидуллина, Н., Дешевая, Е., Устинов, С., Захаренко, Д., & Сычев, В. (2020). Основные принципы, требования и методы обеззараживания. *Российский сегмент международной космической экспедиции ЭкзоМарс-2022* (с. 57–163). Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина (Химки).
- Khamidullina, N., Deshevaya, E., Ustinov, S., Zakharinko, D., & Sychev, V. (2020). Fundamental principles, requirements, and methods of disinfection. *Russian segment of the international space expedition ExoMars-2022* (pp. 57–163). S.A. Lavochkin Science and Production Association (Khimki). (In Russ.)
- Abidullah, K., Guohui, X., Chuangang, Y., Amin, K., & Chunmao, H. (2019). Time-dependent bactericidal efficacy of hydrogen peroxide against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* and *Acinetobacter baumannii* in second degree burn wound. *Biomedical Journal of Scientific & Technical Research*, 15(4), 11447–11452. <http://dx.doi.org/10.26717/BJSTR.2019.15.002720>
- Chavan, R., Ansari I., & Bhatt S. (2016). Packaging: Aseptic Filling. *Encyclopedia of Food and Health*, 22, 191–198. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00512-2>
- Chiozzi, V., Agriopoulou, S., & Varzakas, T. (2022). Advances, applications, and comparison of thermal (pasteurization, sterilization, and aseptic packaging) against non-thermal (ultrasounds, UV radiation, ozonation, high hydrostatic pressure) technologies in food processing. *Applied Sciences*, 12(4), 2202. <https://doi.org/10.3390/app12042202>
- Deeth, H. (2017). Optimum thermal processing for extended shelf-life (ESL) milk. *Foods*, 6(11), 102. <https://doi.org/10.3390/foods6110102>
- González-Aguilar, G., Ayala-Zavala, J., Chaidez-Quiroz, C., Heredia, J., & Campo, N. (2012). Peroxyacetic acid. Decontamination of fresh and minimally processed produce, 215–223. 1(12) <https://doi.org/10.1002/9781118229187.ch12>
- Hedrick, T. (1973). Aseptic packaging in paperboard container. *Food Technology*, 27(9), 64.
- Jildeh, Z., Kirchner, P., Oberlaender, J., Vahidpour, F., Wagner, P., & Schöning, M. (2020). Development of a package-sterilization process for aseptic filling machines: A numerical approach and validation for surface treatment with hydrogen peroxide. *Sensors and Actuators A: Physical*, 303, 111691. <https://doi.org/10.1016/j.sna.2019.111691>
- Khadre, M. A., & Yousef, A. E. (2001). Decontamination of a multilaminated aseptic food packaging material and stainless steel by ozone. *Journal of Food Safety*, 21(1), 1–13. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4565.2001.tb00304.x>
- Nadruz, V., Beard, L. A., Delph-Miller, K. M., Larson, R. L., Bai, J., & Chengappa, M. M. (2023). Efficacy of high-level disinfection of endoscopes contaminated with *Streptococcus equi* subspecies *equi* with 2 different disinfectants. *Journal of Veterinary Internal Medicine*, 37(4), 1561–1567. <https://doi.org/10.1111/jvim.16740>
- Toledo, R.T. (1986). Post processing changes in aseptically packed beverages. *Agricultural and Food Chemistry*, 34(3), 405–408. <https://doi.org/10.1021/jf00069a005>