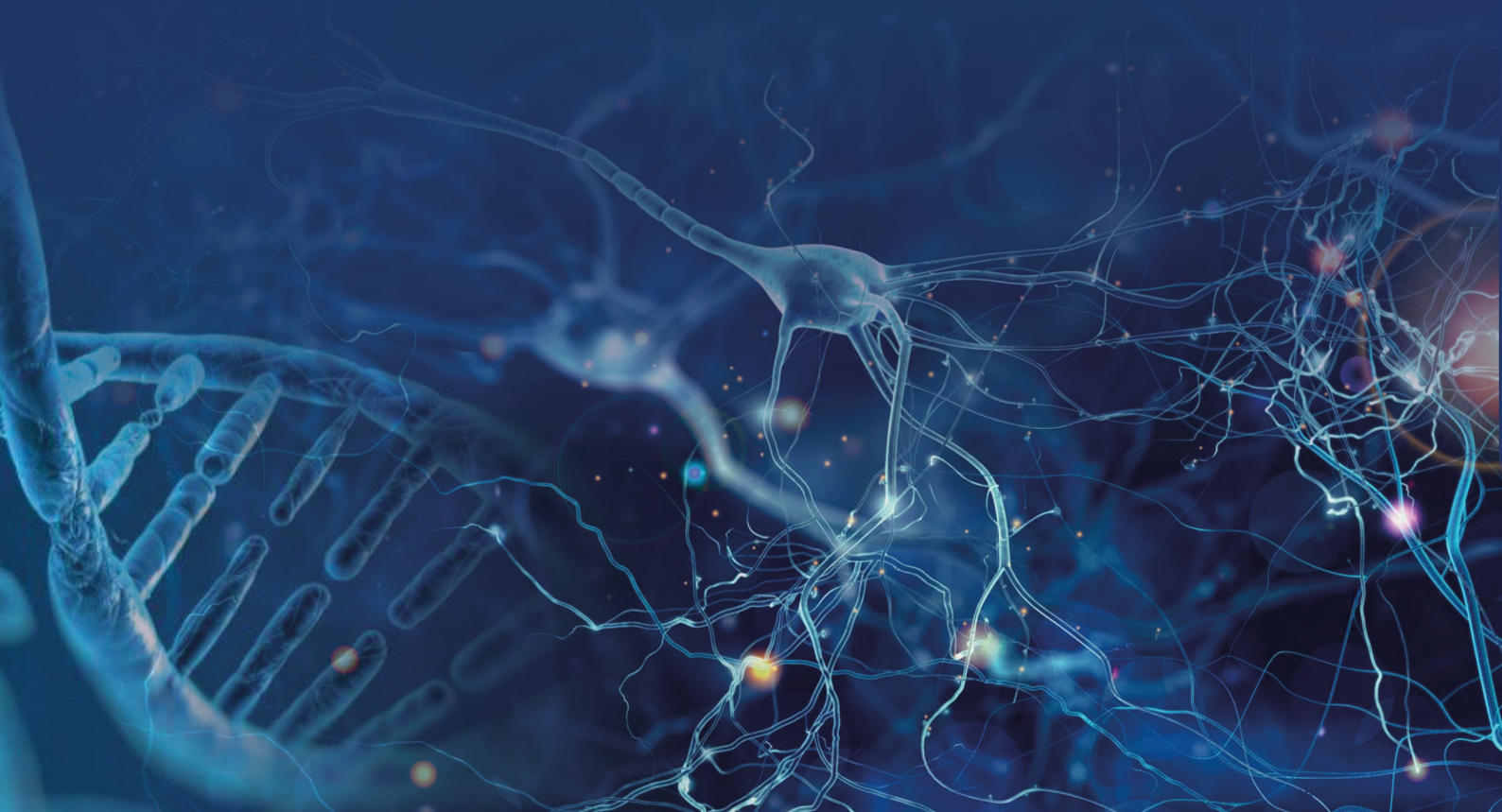


ISSN 2712-7648

HEALTH, FOOD, & BIOTECHNOLOGY

Volume 2, Issue 1
Year 2020



HFB

Health, Food and Biotechnology

№ 1 - 2020

Периодичность издания – 4 номера в год

No 1 - 2020

Periodicity of publication - 4 issues per year

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет пищевых производств» (ФГБОУ ВО МГУПП)

Founder: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Moscow State University of Food Production» (FSBEI HE MSUFP)

Редакция

Заведующий редакцией - Косычева Марина Александровна
Выпускающий редактор - Косычева Марина Александровна
Ответственный секретарь - Шленская Наталья Марковна
Редактор по этике - Хорохорина Галина Анатольевна
Медийный редактор - Акопян Армен Игитович

Editorial Team

Head of Editorial Team - Marina A. Kosycheva
Editor of Issue - Marina A. Kosycheva
Executive Secretary - Nataliya M. Shlenskaya
Ethics Editor - Galina A. Khorokhorina
Social Media and Product Editor - Armen I. Hakobyan

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации средства массовой информации ЭЛ №ФС77-72959 от 25 мая 2018 г.

The Journal is registered by the Federal Service for Supervision in the Sphere of Communication, Information Technologies and Mass Media. The Mass Media Registration Certificate EL No FS77-72959 dated May 25, 2018.

Адрес:

125080, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11
Тел. +7 (499) 750-01-11*6585
E-mail: info@spfp-mgupp.ru

Address:

11, Volokolamskoe shosse, Moscow, Russian Federation, 125080
Tel. +7 (499) 750-01-11*6585
E-mail: info@spfp-mgupp.ru

Официальный сайт учредителя: mgupp.ru

Официальный сайт редакции: hfb-mgupp.com

© ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», 2020.

Official web site of Founder: mgupp.ru

Official web site of the Editorial Office: hfb-mgupp.com

© FSBEI HE «Moscow State University of Food Production», 2020.

Редакционный совет

Главный редактор **БАЛЫХИН Михаил Григорьевич** – доктор экономических наук, профессор, ректор

Члены редакционного совета:

Абаева Курманкуль Тулеутаевна	Казахский национальный аграрный университет, Республика Казахстан
Абдраманов Абзал Аскарбекович	Казахский национальный аграрный университет, Республика Казахстан
Асанова Дания Касимовна	Казахский национальный аграрный университет, Республика Казахстан
Бойд Сара	Дублинский технологический институт, Ирландия
Бурлибаев Малик Жолдасович	Казахское агентство прикладной экологии, Республика Казахстан
Джзозаф Моисей	Варшавский университет естественных наук, Польша
Есполов Тлектес Исабаевич	Казахский национальный аграрный университет, Республика Казахстан
Игнар Штефан	Варшавский университет естественных наук, Польша
Мусаева Айман Амангельдиевна	Атырауский государственный университет им. Халела Досмухамедова, Республика Казахстан
Пикосжевский Войцех	Ягеллонский университет, Польша
Подлацкий Славомир	Варшавский университет естественных наук, Польша
Сагян Ашот Серобович	Научно-производственный центр "Армбиотехнология" НАН РА, Республика Армения
Самбандам Ананадан	Национальный институт технологий, Индия
Сарсекова Дани Нургисаевна	Казахский агротехнический университет имени Сакена Сейфуллина, Республика Казахстан
Северинов Константин Викторович	Институт молекулярной генетики РАН, Институт биологии гена РАН, Россия
Франкович Марек	Ягеллонский университет, Польша
Фриас Исус	Дублинский технологический институт, Ирландия
Хайтович Филипп Ефимович	Институт Вычислительной Биологии в Шанхае, Сколтех, Китай, Россия
Химмелбауер Маргарита	Венский университет природных ресурсов, Австрия
Цыганова Татьяна Борисовна	Московский государственный университет пищевых производств, Россия,
Шенбергер Игорь Викторович	Казахстанское Агентство Прикладной Экологии, Республика Казахстан
Щетинин Михаил Павлович	Московский государственный университет пищевых производств, Россия
Юнусова Гульнара Батырбековна	Костанайский государственный университет имени А.Байтурсынова, Республика Казахстан

Editorial Board

Editor-in-Chief **Mikhail G. BALYKHIN** – Doctor of Economics, Professor, Rector

Members of the Editorial Board:

Kurmankul T. Abayeva	Kazakh National Agrarian University, Kazakhstan
Abzal A. Abdramanov	Kazakh National Agrarian University, Kazakhstan
Daniya K. Asanova	Kazakh National Agrarian University, Kazakhstan
Sara Boyd	Dublin Institute of Technology, Ireland
Malik Burlibayev	Kazakhstan Agency of Applied Ecology, Kazakhstan
Tlektes I. Espolov	Kazakh National Agrarian University, Kazakhstan
Marek Frankowicz	Jagiellonian University, Poland
Jesus Frias	Dublin Institute of Technology, Ireland
Margarita Himmelbauer	University of Natural Resources and Life Sciences, Austria
Mosiej Jozef	Warsaw University of Life Sciences, Poland
Philipp E. Khaitovich	Institute for Computational Biology by the Chinese Academy of Sciences; Skoltech, China, Russia
Aiman A. Mussayeva	Kh. Dosmukhamedov Atyrau State University, Kazakhstan
Wojciech Piekoszewski	Jagiellonian University, Poland
Slawomir Podlaski	Warsaw University of Life 1 Sciences, Poland
Ashot S. Saghyan	National Academy of Sciences of the Republic of Armenia, Armenia
Anandan Sambandam	National Institute of Technology Tiruchirappalli, India
Dani N. Sarsekova	S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, Kazakhstan
Mikhail P. Schetinin	Moscow State University of Food Production, Russia
Konstantin V. Severinov	Institute of Gene Biology Russian Academy of Sciences, Russia
Igor V. Shenberger	Kazakhstan Agency of Applied Ecology, Kazakhstan
Ignar Stefan	Warsaw University of Life 1 Sciences, Poland
Tatiana B. Tsyganova	Moscow State University of Food Production, Russia
Gulnara B. Yunussova	A.Baitursynov Kostanay State University, Kazakhstan

Содержание

Редакторская статья

Балыхин М.Г., Косычева М.А.

Обзор предметного поля как жанр научной коммуникации..... 7

Здоровье

Резник А.М.

Психические расстройства у ветеранов локальных войн, перенесших черепно-мозговую травму..... 11

Питание

Белова Ю.Н., Максимов А.С., Ношин А.А., Суворов О.А., Яблоков А.Е., Якушев А.О.

Развитие индустрии здорового питания с использованием прогрессивных информационных решений 24

Букреев Н.С., Парамонов Г.В., Сумерин В.А., Шанк М.А.

Преимущества применения нейротехнологий в пищевой промышленности 34

Губанова М.И., Кириш И.А., Банникова О.А., Безнаева О.В.

Разработка антиадгезионных фторопластовых покрытий для пищевых технологий..... 49

Корнилов К.Н., Роева Н.Н.

Обнаружение частиц микропластика в растительных маслах 62

Мачнев А.В., Поливяный Ю.В., Яшин А.В., Хорев П.Н.

Результаты экспериментальных исследований маслоизготовителя..... 71

Рогов И.А., Чоманов У.Ч., Данильчук Т.Н.

Эффективность метода обработки быстрыми электронами для снижения порчи растительного сырья при хранении и транспортировке 84

Фролова Ю.В.

Методы оценки защитных полимерных покрытий, предназначенных для контакта с пищевыми продуктами 98

Эраки М.Т.Х., Благовещенский И.Г., Благовещенский В.Г., Зубов Д.В.

Контроль качества розлива и маркировки пищевых продуктов с использованием интеллектуальных технологий 112

Биотехнологии

Бутова С.Н., Вольнова Е.Р., Николаева Ю.В., Едличкова Я.

Усовершенствование технологии плодово-ягодных соков с использованием пектолитических ферментов..... 128

Карпенко Д.В.

Определение рациональных параметров акустической обработки с целью активации пивных дрожжей 140

Щеголева И.Д., Молчанова Е.Н.

Отходы чайного производства как дополнительный ресурс биологически активных веществ 153

Content

Editorial

M. Balykhin, M. Kosycheva Scoping Review as a Genre of Scientific Communication	7
---	---

Health

A. Reznik Mental Disorders in Veterans of Local Wars Suffered Brain Injury	11
--	----

Food

Y. Belova, A. Maksimov, A. Noshin, O. Suvorov, A. Yablokov, A. Yakushev Healthy Food Industry Development using Progressive Information Technologies & Solutions.....	24
N. Bukreev, G. Paramonov, V. Soumerin, M. Shank Advantages of Using Neurotechnologies in the Food Industry	34
M. Gubanova, I. Kirsh, O. Bannikova, O. Beznaeva Development of Anti-Adhesive Fluoroplastic Coatings for Food Technologies.....	49
K. Kornilov, N. Roeva Detection of Microplastic Particles in Vegetable Oils.....	62
A. Machnev, Y. Polyvyanyi, A. Yashin, P. Khorev Results of Pilot Studies Masloizgotovitelya.....	71
I. Rogov, U. Chomanov, T. Danilchuk Efficiency of the Fast Electron Exposure Method for Reducing Spoilage of Food Raw Materials and Food Products During Storage and Transportation.....	84
Y. Frolova Evaluation Methods for Protective Polymer Coatings for Food Contact.....	98
M.T.H. Eraky, I. Blagoveshchenskiy, V. Blagoveshchenskiy, D. Zubov Quality Control of Bottling and Labelling Food Products with the use of Intelligent Technologies	112

Biotechnology

S. Butova, E. Volnova, J. Nikolaeva, J. Jedličková Improvement of Fruit-Berry Juices Technology using Pectolytic Enzymes	128
D. Karpenko Determination of Rational Parameters of Acoustic Processing in order to Activate Brewer's Yeast.....	140
I. Shchegoleva, E. Molchanova Tea Production Waste as an Additional Resource of Biologically Active Substances.....	153

Обзор предметного поля как жанр научной коммуникации

Балыхин Михаил Григорьевич, Косычева Марина Александровна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Корреспонденция, касающаяся этой статьи, должна быть адресована Косычевой М.А., ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», адрес: 125080, город Москва, Волоколамское шоссе, дом 11. E-mail: kosychevama@mgupr.ru

Жанр научной статьи «обзор предметного поля» (scoping review) рассматривается как инструмент для синтеза научных данных. Приводятся отличия обзора предметного поля от систематического обзора (systematic review). Детализируется структура и даются рекомендации по написанию обзора предметного поля.

Ключевые слова: обзор литературы, пробел в знаниях, обзор предметного поля, систематический обзор, синтез научных данных

Обзоры исследований в рамках заданной проблематики все увереннее заявляют о своей значимости в сфере научной коммуникации. Обзоры создаются с целью очертить границы предметного поля, выявить тренды и те проблемы, которые существуют в определенной научной области, выявить пробелы в существующем знании (Раицкая, Тихонова, 2019).

Обзоры, как вид научного исследования, появились в 2000 годы. Как и многие виды знаковых исследований они появились в связи с анализом публикаций по медицине. Для медицинской науки обзоры были крайне важны, так как они давали возможность сопоставлять данные разных исследований, выявлять неточности, анализировать результаты клинических испытаний, которые впоследствии могли применяться на практике. К 2010 году обзоры стали появляться в гуманитарных и социальных науках, но не так стремительно как в медицинских журналах (Raitskaya, Tikhonova, 2019).

Обзор призван следовать устойчивому алгоритму представления информации, включая описание всех его этапов: от отбора источников, до систематизации почерпнутой из них информации. Тип обзора определяет выбор методики его написания. Различают обзоры теоретические, нарративные, метаанализ, систематический обзор, библиометрический, обзор предметного поля и другие (Раицкая, Тихонова, 2020).

В контексте написания любого обзора, принципиальным становится умение автора объективно провести отбор источников для анализа, учитывая смежные дисциплины; оценить актуальность представленных в них исследований, которая подтверждается цитированием в международных базах данных. Умение критически анализировать и синтезировать отобранный материал, распределяя его логически в специальные тематические группы, выступает в качестве второго принципиально значимого шага при написании обзора.

Российские авторы зачастую ассоциируют написание обзора с описанием библиографической базы исследования, что влечет за собой определенные трудности. Источники для анализа отбираются случайно и не системно, нередко игнорируются международные исследования, основными источниками анализа становятся исключительно российские публикации. Такой подход существенно нивелирует цель создания обзора и представляет собой наукообразный текст, не имеющий значимого влияния на развитие научного знания. Качественный обзор призван помочь исследователям ориентироваться в исследованиях в рамках заданной тематики, получить полное представление о специфике развития проблематики в определенный временной отрезок и облегчить поиск релевантной информации по теме исследования. При этом, обзор должен максимально полно учитывать наиболее значимые исследования по проблематике, опубликованные в международных базах данных, исследователей со всего мира. Национальный

фокус обзора допустим лишь в случае необходимости осветить исследования в заданной области, реализованные учеными конкретной страны: но в таком случае цель обзора должна это прямо заявлять.

В качестве самостоятельных исследований наиболее популярными считаются систематический обзор, метаанализ и обзор предметного поля. Систематический обзор, как правило, четко фокусируется на определенных исследовательских вопросах и следует структуре, позволяющей четко ответить на эти вопросы. Целью такого обзора будет анализ эмпирических данных ряда аналогичных по методологии исследований, выявление их значимости и применимости в реальной практике, обнаружение ошибок и неточностей в проведенных исследованиях. В начале проведения исследования определяются критерии для отбора источников, основанные на методологии отбора. Далее проводится оценка и отбор источников. На основе контент-анализа отобранных документов обзор должен дать ответ на исследовательский вопрос (Burgers et al., 2019). Для систематического обзора характерен глубокий анализ источников с целью выявить искажения методологий изучаемых источников, предвзятость обоснования результатов и выводов, необоснованность ограничений (Raitskaya, Tikhonova, 2019).

Метаанализ включает в себя использование статистических методов для количественного синтеза анализируемых источников для проверки научных гипотез. Он считается самым глубоким видом обзора и одним из самых сложных, так как результат будет зависеть от умения авторов правильно составлять выборки и отбирать данные для анализа.

Обзор предметного поля - относительно новый вид обзора, его цель состоит в том, чтобы определить границы предметного поля, обнаружить пробелы в знаниях и выявлять тенденции в исследованиях (Arksey, O'Malley, 2005). Считается, что такие обзоры необходимо проводить перед написанием систематического обзора, так как они призваны проанализировать большой объем литературы по обширной тематике. К сожалению, такие обзоры практически не пишут на русском языке, что свидетельствует о несформированности у российских исследователей компетенции по релевантному подбору и анализу источников.

Методология для проведения обзора предметного поля состоит из 5 этапов (Arksey, O'Malley, 2005). На первом этапе формулируются исследовательские вопросы, выделенные на основе ключевых

понятий предметного поля. Авторы, формулируя исследовательские вопросы, должны избегать нечетких формулировок, которые могут привнести в исследование не относящиеся к нему материалы. На втором этапе проводится тщательный поиск и скрининг источников, сопровождаемый их первичной фильтрацией. Поиск выполняется в международных базах данных (Scopus и WoS) и специализированных базах данных по научным областям на основе ключевых слов, а также с помощью ручного поиска с использованием материалов журналов, конференций, книг, библиографических списков и т.п. Очень важно корректно отбирать ключевые слова и учитывать расхождения в терминологии исследователей из различных стран при определении ключевых слов для поиска. На третьем этапе на основе критериев включения и исключения (inclusion and exclusion criteria) производится оценка аннотаций или полных версий отобранных источников, если аннотации оказываются недостаточно информативными. На четвертом этапе происходит обобщение и анализ зафиксированных результатов, посредством составления таблиц и схем с включением в них извлеченных данных в результате сортировки материала по ключевым вопросам и темам. На пятом этапе представляется обсуждение зафиксированных результатов, формулируются ответы на поставленные исследовательские вопросы, выявляются пробелы в конкретном предметном поле, а также определяются тенденции развития направления исследований в данном предметном поле. Кроме того, на этом этапе принимается решение о проведении дальнейшего систематического обзорного исследования или метаанализа.

Отсюда, структура обзора предметного поля следует традиционной логике построения научных исследований IMRAD (Introduction, Methods, Results and Discussion). Во «Введении» обосновывается актуальность проведения такого обзора, указывается, проводились ли ранее подобные исследования, а также прописываются исследовательские вопросы. Раздел «Методы» должен содержать подробное описание алгоритма поиска источников для обзора: какие источники отбирались, какие базы для поиска были использованы, какие публикации и за какой период отбирались, какая поисковая стратегия применялась. «Результаты» обзора фиксируют выявленные группы источников в систематизированном виде. В данном разделе уместно систематизировать полученные результаты в таблицы. Не рекомендуется копировать содержание таблиц в тексте обзора, функция таблиц - вспомогательная. Таблицы и графики должны быть максимально систематизированными и визуализированными.

Раздел «Обсуждение результатов» демонстрирует, какие тенденции и пробелы в предметной области были выявлены, представляет их подробный анализ. В этой части обзора принято сопоставлять полученные в рамках данного обзора предметного поля результаты с предыдущими обзорами.

Зачастую, разделы «Методы» и «Обсуждение результатов» объединяют в один раздел. Но рецензенты чаще всего настаивают на их представлении в качестве отдельных секций. Объединение обосновано лишь в случае полной невозможности для автора разделить представление результатов с их обсуждением. В «Заключении» кратко обобщаются ответы на поставленные исследовательские вопросы и, представляются перспективы дальнейших исследований в заданной проблематике.

Для обзоров предметного поля характерно наличие большого списка литературы. Но, если не все источники, использованные для создания обзора процитированы в его тексте, рекомендуется выносить их в приложения. В пристатейный список литературы выносятся только процитированные источники.

Название обзора обычно состоит из двух частей - первая формулирует тему исследования, вторая уточняет тип обзора, например, *The concept of vitality. Review of the vitality-related research domain* (Lavrusheva, 2020).

Создание обзора мыслится весьма перспективным научным исследованием, позволяющим глубоко проанализировать степень разработанности исследуемой проблематики, не требующим лабораторий и оборудования для проведения экспериментов. При этом, такое исследование подразумевает знание методологии, понимание степени изученности анализируемой проблемы на мировом уровне, отличное владение английским

языком, как средством международной научной коммуникации. Как правило, качественно составленные обзоры получают большое количество цитирований.

Для всех потенциальных авторов журнала «Health. Food & Biotechnology» на сайте издания в информации для авторов размещена подробная инструкция для написания обзора предметного поля.

Литература

- Раицкая, Л. К., & Тихонова, Е. В. (2019). Обзор как перспективный вид научной публикации, его типы и характеристики. *Научный редактор и издатель*, 4(3-4), 131-139. <https://doi.org/10.24069/25420267-2019-3-4-131-139>
- Раицкая, Л. К., & Тихонова, Е. В. (2020). Обзор обзоров как инструмент выявления трендов в исследуемой области знания. *Высшее образование в России*, 29(3), 37-57. <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2020-29-3-37-57>
- Arksey, H., & O'Malley, L. (2005). Scoping Studies: Towards a methodological framework. *International Journal of Social Research Methodology: Theory and Practice*, 8(1), 19-32. <https://doi.org/10.1080/1364557032000119616>
- Burgers C., Brugman B. C., & Boeynaems A. (2019). Systematic literature reviews: Four applications for interdisciplinary research. *Journal of Pragmatics*, 145, 102-109. <https://doi.org/10.1016/j.pragma.2019.04.004>
- Lavrusheva, O. (2020). The concept of vitality. Review of the vitality-related research domain. *New Ideas in Psychology*, 56, 100752. <https://doi.org/10.1016/j.newideapsych.2019.100752>
- Raitskaya, L., & Tikhonova, E. (2019). Scoping Reviews: What is in a Name? *Journal of Language and Education*, 5(2), 4-9. <https://doi.org/10.17323/jle.2019.9689>

Scoping Review as a Genre of Scientific Communication

Mikhail G. Balykhin, Marina A. Kosycheva

Moscow State University of Food Production

Correspondence concerning this article should be addressed to Marina A. Kosycheva, Moscow State University of Food Production, 11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation. E-mail: kosychevama@mgupp.ru

A scoping review as a tool for synthesizing scientific data is analyzed; the differences of a scoping review from a systematic review are given. The structure is described and recommendations for writing a scoping review are given.

Keywords: literature review, knowledge gap, scoping review, systematic review, synthesis of scientific data

References

- Raitskaya L. K., & Tikhonova E. V. (2019). Reviews as a promising kind of scholarly publication, its types and characteristics. *Nauchnyi Redaktor i Izdatel'* [Science Editor and Publisher], 4(3-4):131-139. <https://doi.org/10.24069/2542-0267-2019-3-4-131-139>
- Raitskaya, L. K., & Tikhonova, E. V. (2020). An Overview of Reviews as a Trend Maker in the Field. *Vysshee obrazovanie v Rossii* [Higher Education in Russia], 29(3), 37-57. <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2020-29-3-37-57>
- Arksey, H., & O'Malley, L. (2005). Scoping Studies: Towards a Methodological Framework. *International Journal of Social Research Methodology: Theory and Practice*, 8(1), 19-32. <https://doi.org/10.1080/1364557032000119616>
- Burgers C., Brugman B. C., & Boeynaems A. (2019). Systematic literature reviews: Four applications for interdisciplinary research. *Journal of Pragmatics*, 145:102-109. <https://doi.org/10.1016/j.pragma.2019.04.004>
- Lavrusheva, O. (2020). The concept of vitality. Review of the vitality-related research domain. *New Ideas in Psychology*, 56, 100752. <https://doi.org/10.1016/j.newideapsych.2019.100752>
- Raitskaya, L., & Tikhonova, E. (2019). Scoping Reviews: What is in a Name? *Journal of Language and Education*, 5(2), 4-9. <https://doi.org/10.17323/jle.2019.9689>

How to Cite

Balykhin, M. G., & Kosycheva, M. A. (2020). Scoping Review as a Genre of Scientific Communication. *Health, Food & Biotechnology*, 2(1). <https://doi.org/10.36107/hfb.2020.i1.s284>

Психические расстройства у ветеранов локальных войн, перенесших черепно-мозговую травму

Резник Александр Михайлович

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Корреспонденция, касающаяся этой статьи, должна быть адресована Резнику А.М., ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», адрес: 125080, город Москва, Волоколамское шоссе, дом 11. E-mail: a.m.reznik1969@gmail.com

Обследовано 264 ветерана локальных войн, прошедших лечение в психиатрических отделениях военного госпиталя. В группы сравнения включались военнослужащие кадра и запаса, не принимавшие участия в боевых действиях. В первую группу (296 чел.) включались все пациенты, проходившие лечение в психиатрических отделениях госпиталя в 1999 году. Вторая группа сравнения (125 чел.) комплектовалась таким образом, чтобы соответствовать не только среднему возрасту, но и кривой распределения возраста основной группы. Проведено сравнение клинических проявлений психических расстройств в связи с травмой головного мозга с преобладанием невротоподобной симптоматики (56 человек) и диагностированных у ветеранов невротических расстройств (51 пациент).

Органические психические расстройства в связи травмой головного мозга были диагностированы у 80 ветеранов (30,3%), тогда как у пациентов из 1-й и 2-й групп сравнения они диагностировались лишь в 22 (7,4%) и 15 (12%) случаев соответственно. Во всех трех группах преобладали психопатологические синдромы непсихотического уровня, диагностированные почти с равной частотой. В 1-й группе сравнения незначительно чаще диагностировались психотические расстройства и деменция, что может быть связано с возрастом. Главной особенностью проявлений болезни у ветеранов, в отличие от других групп пациентов, оказалось наличие симптомов стрессовых расстройств. У них выявлялись «комбатантные» изменения личности (30%) и симптомы повторного переживания психической травмы. Симптомы повышенной реактивности или возбудимости у ветеранов встречались также часто, как у других пациентов. Однако у ветеранов повышенная возбудимость часто сочеталась с типичными изменениями личности и агрессивным поведением. Сравнение органических психических расстройств в связи с травмой головного мозга с диагностированными у ветеранов невротическими расстройствами, показало то, что у них преобладают схожие по тяжести и психопатологическим проявлениям синдромы.

Ключевые слова: боевой стресс, боевое стрессовое расстройство, посттравматическое стрессовое расстройство, черепно-мозговая травма умеренной тяжести, сотрясение мозга, последствия черепно-мозговой травмы, органическое психическое расстройство

Введение

Комплекс патогенных факторов боевой обстановки наряду с психическими стрессорами включает в себя влияние полученных ранений и травм, перенесенных болезней, длительной усталости, неблагоприятных климатических факторов. Поэтому в клинической практике психопатологические проявления стрессовых расстройств часто сочетаются с другими психическими нарушениями (Glenn et al., 2002; Hoge et. al., 2008; Perkonig, Kessler, Storz, & Wittchen, 2000). Более того, многие из симптомов, ныне причисляемых к диагностическим признакам посттравматического стрессового рас-

стройства (ПТСР), в середине прошлого века рассматривались в качестве симптомов органической психической патологии вследствие полученной минно-взрывной травмы (Гиляровский, 1944; Снежневский, 1947). Отмечалось, что дифференциальный диагноз между невротическими и невротоподобными расстройствами в таких случаях затруднен из-за схожести клинических проявлений и частоты комбинации в военных условиях психогенного влияния с механической травмой мозга (Сухарева, 1943; Тимофеев, 1945). Диагностические трудности стали одной из предпосылок того, что в годы Великой Отечественной войны в Красной Армии для обозначения большинства психических расстройств, развившихся в боевой обстановке,

стало применяться собирательное понятие «контузия». В него включались почти все формы боевой психической патологии, вне зависимости от преобладания т.н. «органических» или «функциональных» нарушений (Тимофеев, 1945). На лечение и восстановление боеспособности «контуженных» была ориентирована вся система оказания психиатрической помощи в Красной Армии. И она показала высочайшую эффективность: в 1944–1945 годах до 75% пострадавших с психическими расстройствами возвращались в строй (Лобастов, Спивак, 1985). В последней четверти XX века в литературе, посвященной проблеме боевой психической патологии, возобладали психологические объяснения ее генеза, а данные о частоте черепно-мозговой травмы (ЧМТ) и ее влиянии на развитие психических расстройств у ветеранов локальных войн встречались редко. Лишь последние годы в зарубежных публикациях появились сообщения о высокой степени сопряженности симптомов последствий ЧМТ (post-concussive symptoms) и ПТСР, а также высоком риске стрессовых расстройств у лиц, перенесших травмы мозга (Kennedy et al., 2007; Koren, Hemel, Klein, 2006; Miller et al., 2015; Morissette et al., 2011; Ruff, Riechers, Wang, Piero, & Ruff, 2012; Schneiderman, Braver, & Kang, 2008; Vasterling, Verfaellie, & Sullivan, 2009). Более того, ЧМТ умеренной тяжести или сотрясение мозга (mild traumatic brain injury/ concussion) стали называть «фирменной травмой» («signature injury») войны в Ираке и Афганистане (Taylor, 2012). Сообщается, что от 6,7% до 17% ветеранов этих военных операций в период командировки переносили ЧМТ умеренной тяжести, из них 56% сообщали, что получали более одного сотрясения мозга (Taylor, 2012; Wilk, Herrell, Wynn, Riviere, & Hoge, 2012). Среди ветеранов, которые переносили в боевой обстановке ЧМТ, у 52% отмечалась неврологическая симптоматика (neurological deficits), у 89% имелся какой-либо психиатрический диагноз, от 66% до 73% имели признаки ПТСР, в 50% случаев – комбинацию ПТСР и неврологических нарушений (Ruff et al., 2012; Taylor, 2012). Причем, по мнению ряда авторов, повторные травмы головного мозга повышали риск развития и ПТСР и появления неврологической симптоматики (Ruff et al., 2012), становились предпосылкой более тяжелого течения ПТСР и депрессии (Morissette et al., 2011). Напротив, отсутствие черепно-мозговой травмы в анамнезе в пять раз снижало риск сочетания ПТСР с болевым синдромом (Taylor, 2012).

Во взглядах на значение тяжести черепно-мозговой травмы в развитии боевого ПТСР имеются противоречия. Приводятся данные, что в отличие от мирной травмы, риск возникновения

боевых стрессовых расстройств повышается при любой тяжести механической травмы головы (Ruff et al., 2012; Stein et al., 2015). В других исследованиях отмечается, что у ветеранов, переносивших ЧМТ умеренной тяжести, психосоциальные последствия в большей степени определяются имеющимися симптомами стрессовых расстройств, чем самой по себе травмой головы или ее неврологическими проявлениями (Polusny, 2011). Отмечается также, что повышение частоты симптомов ПТСР наблюдается лишь в случае ЧМТ легкой степени тяжести, тогда как травма головы с тяжелыми неврологическими последствиями, напротив, характеризуется весьма низкой встречаемостью стрессовых симптомов. В этой связи высказывается суждение, что психопатология у ветеранов, получавших на войне травмы головы легкой тяжести, обусловлены чаще воздействием психического стресса, чем непосредственно механической травмой мозга (Garber, Rusu, & Zamorski, 2014; Zatzick, 2010). Одновременно в англоязычной литературе чаще стали обращать внимание на сложность дифференциальной диагностики, опирающейся на присутствие тех или иных признаков, которые традиционно относятся к функциональным или «неврологическим», и даже подчеркивать неспецифический характер психопатологической симптоматики, возникающей в момент механической или психической травмы, так и при ПТСР и неврозоподобных расстройствах в рамках органического психического расстройства в связи с травмой головного мозга (Morissette et al., 2011; Vasterling, Jacob & Rasmusson, 2018; Wilk et al., 2012).

Для объяснения частой коморбидности ПТСР и неврологических симптомов у ветеранов войн предложены разные объяснения. Во-первых, особенности боевой обстановки, предопределяют одновременное получение минно-взрывной травмы головного мозга и психологической травмы; во-вторых, особенности церебрального функционирования после черепно-мозговой травмы способствуют уязвимости индивида к дополнительному психотравмирующему воздействию (Ruff et al., 2012); в третьих, легкая травма головы может не оставлять после себя существенных последствий, а имеющиеся симптомы полностью обусловлены психотравмирующим воздействием (Garber et al., 2014; Hoge et al., 2008; Vasterling, Jacob & Rasmusson, 2018; Zatzick, 2010). Таким образом, реальные медицинские последствия войны заставили американских психиатров вернуться к изучению боевой психической патологии, имеющей связь с черепно-мозговой травмой. К сожалению, в российской психиатрии слишком затянулась пауза с изучением значения черепно-мозговой травмы в

возникновении и клинико-психопатологическом оформлении психической патологии участников и ветеранов локальных войн. Поэтому целью исследования стало выяснение частоты и психопатологической структуры психических расстройств в связи с травмой головного мозга у российских ветеранов локальных войн, получавших лечение в психиатрических отделениях военного госпиталя.

Материалы и методы исследования

Участники исследования

Для достижения поставленной цели обследованы все ветераны локальных войн и вооруженных конфликтов, которые проходили лечение в психиатрических отделениях Главного военного клинического госпиталя им. Н.Н. Бурденко с 1992 по 2010 год (Таблица 1). Всего в основную группу вошло 264 ветерана (изучено 468 медицинских карт стационарного больного). Средний возраст обследованных основной группы составил 40,3 лет (min = 19; max = 70).

Для сравнения частоты органических психических расстройств, связанных с травмой головного мозга, и их клинических особенностей у ветеранов войн и пациентов, которые никогда не принимали участия в боевых действиях, на первом этапе были составлены две группы сравнения. В первую группу сравнения были включены все военнослужащие кадра и запаса, не имевшие боевого опыта, которые находились на лечении в госпитале в 1999 году (296 человек). Группа была составлена с целью сравнения психопатологии и динамики психических расстройств у ветеранов локальных войн и основной части военнослужащих и военных пенсионеров, обращающихся за помощью в психиатрический стационар. Средний возраст пациентов этой группы на момент последней госпи-

тализации составил 48,01 лет (min = 18; max = 92). В связи со значимыми различиями среднего возраста основной группы и первой группы сравнения ($p=0,034$) интерес представляло сопоставление количественных и качественных показателей психотических расстройств в группах эквивалентного возраста. С этой целью из числа пациентов, проходивших лечение в психиатрических отделениях госпиталя с 1992 по 2009 год, методом случайного выбора (рандомизации) с последующей стратификацией по показателям возраста на момент последнего обращения за госпитальной помощью была составлена вторая группа сравнения. Она состояла из 125 человек. Их средний возраст равнялся 40 годам (min = 18; max = 77). Причем ни средний возраст, ни кривая распределения возрастов пациентов основной группы и второй группы сравнения и не имели значимых отличий.

В связи с преобладанием в структуре психопатологии ветеранов, получавших черепно-мозговую травму, психических нарушений непсихотического регистра, на втором этапе исследования, были образованы две сравниваемые группы. В первую группу были включены ветераны с органическими психическими расстройствами в связи с травмой головного мозга с диагностированными психопатологическими синдромами невротического регистра. В нее вошли 55 человек, средний возраст которых равнялся 41,0 году (min = 24; max = 59). В группу сравнения были включены все обследованные ветераны локальных войн, у которых были диагностированы различные невротические расстройства и расстройства адаптации. В этой группе был 51 человек, средний возраст равнялся 37,7 лет (min = 25; max = 53).

В качестве основных методов исследования были использованы: клинико-психопатологический, математико-статистический. Первичные научные данные были структурированы при помо-

Таблица 1

Группы обследованных военнослужащих кадра и запаса, находившихся на стационарном лечении в психиатрических отделениях военного госпиталя

Группы обследованных	Количество обследованных	Возраст		
		min	max	Средний возраст
Ветераны локальных войн, лечившиеся в госпитале с 1992 по 2009 год.	264	19	70	40,3
1-я группа сравнения: военнослужащие кадра и запаса, не принимавшие участия в боевых действиях, лечившиеся в госпитале в 1999 году	296	18	92	48,1
2-я группа сравнения: военнослужащие кадра и запаса, не принимавшие участия в боевых действиях, лечившиеся с 1992 по 2009 год, отобранные методом рандомизации и стратификации по возрасту	125	18	77	40,0

щи специально разработанной под задачи исследования клинико-эпидемиологической карты. Статистическая обработка материала, полученного в процессе исследования, осуществлялась с помощью пакета прикладных программ по статистике (Microsoft Excel, Statistica 6.0). Различия в частоте анализируемых признаков в выборках ветеранов и групп сравнения проводилось с использованием Критерия U Манна-Уитни для независимых выборок.

Результаты исследования

У 80 человек (30,3% всех обследованных ветеранов) были диагностированы психические расстройства в связи с травмой головного мозга. В 1-й группе сравнения они были диагностированы у 22 человек (7,4%), во 2-й группе сравнения – у 15 человек (12%). Отличия выборки ветеранов и 1-й группы сравнения достигали уровня статистической значимости ($p=0,015$).

Представленные в таблице 2 данные показывают, что у ветеранов и пациентов из 1-й и 2-й групп сравнения в диагностированной психической патологии в связи с травмой головного мозга абсолютно доминировали синдромы непсихотического регистра. Они, в частности, диагностировались у 69 ветеранов (87,5%), у 17 больных первой группы сравнения (77,3%) и у всех обследованных второй группы сравнения (100%). Кроме того, во всех группах основную часть составляли пациенты с диагностированными невротическими и аффективными синдромами: в группе ветеранов их было 55 человек (68,8%); в первой группе сравнения – 12 человек (54,6%); во второй группе – 11 (73,3%). При этом в диагнозах нередко присутствовало два или более двух синдромов. Указание в диагнозах синдромов невротического уровня во всех сравниваемых когортах больных встречались почти с равной частотой (31,25%, 36,4% и 33,3% соответственно). Различия появлялись при сравнении количества диагностированных расстройств эмоций. В группе ветеранов и 2-й группе сравнения эквивалентного возраста депрессивный синдром и «аффективные»

Таблица 2

Синдромы, диагностированные у больных с органическими психическими расстройствами в связи с травмой головного мозга

Диагностированные синдромы	Ветераны n = 80		Группа сравнения 1 n = 22		Группа сравнения 2 n = 14	
	абс.	%	абс.	%	абс.	%
Астенический синдром	19	23,75	4	18,2	7	50,0
Неврозоподобный синдром	9	11,25	2	9,1	–	–
Диссоциативное расстройство	3	3,75	–	–	–	–
Ипохондрический синдром	4	5,0	2	9,1	1	7,1
Количество больных с диагностированными невротическими синдромами	32	40,0	8	36,4	8	57,1
Депрессивный синдром	9	11,25	–	–	3	21,4
Аффективные нарушения	31	38,75	6	27,3	3	21,4
Количество больных с диагностированными аффективными синдромами	37	46,25	6	27,3	6	42,9
Изменения личности	2	2,5	–	–	–	–
Психоорганический синдром, умер. когнитивное расстройство	13	16,25	5	22,7	3	21,4
Судорожный синдром	13	16,25	2	9,1	2	14,3
Количество больных с диагностированными психоорганическими расстройствами	21	26,25	6	27,3	5	35,7
Психотическое расстройство	2	2,5	2	9,1	–	–
Делирий, сумерки	6	7,5	–	–	–	–
Амнестический синдром, деменция	3	3,75	3	13,6	–	–
Количество больных с диагностированными психозами и деменцией	11	13,75	4	18,8	–	–
	101/1,26		24/1,1		19/1,35	

или «эмоционально-волевые нарушения»^{1*} диагностировались с равной частотой, а в 1-й группе сравнения – почти в два раза реже. Это, скорее всего, связано с дальнейшим развитием болезни и переходом ее к этапу, когда проявляются более тяжелые когнитивные расстройства. Однако указанные отличия не достигали уровня статистической значимости. Синдромы органического поражения головного мозга – психоорганический, психопатоподобный, судорожный – диагностировались почти одинаково часто. Наиболее тяжелые синдромы – психотические и амнестические – встречались, в основном, у больных 1-й группы сравнения (22,7%), что также вполне объясняется старшим средним возрастом. Частая диагностика у ветеранов органических психотических расстройств с галлюцинаторно-бредовой симптоматикой и делириозного синдрома представляет собой, на наш взгляд, артефакт диагностики, который может быть объяснен лишь вероятным стремлением врачей связать возникновение тяжелого психического расстройства у ветерана с полученной им на войне травмой головного мозга. Примером может служить диагноз органического психотического расстройства у четырех пациентов с описанными в медицинской документации признаками алкогольной зависимости, запойными приступами и абстиненцией, на фоне которой развивался делирий.

В таблице 3 представлена структура выявленных у обследованных симптомов и симптомокомплексов. Вполне ожидаемым оказалось то, что группа ветеранов с органическими психическими расстройствами в связи с травмой головного мозга отличалась от остальных пациентов наличием симптомов повторного переживания травмы («вторжения») и проявлений избегания стимулов, связанных с ней. Также у ветеранов наблюдались характерные изменения личности. К ним относились ощущение отчуждения, чувство изменения смысла жизни и системы ценностей и их несоответствия принятым в мирном обществе; хроническая настороженность и недоверие к людям; сужение диапазона эмоциональных проявлений с легким проявлением враждебности; своеобразная чувствительность к несправедливости; категоричность и односторонность суждений, полярированность моральных оценок, бескомпромиссность и нетерпимость; готовность к импульсивному реагирования на угрожающие стимулы и другие чер-

ты, описанные отечественными и зарубежными исследователями (Литвинцев, Снедков и Резник, 2005). Некоторые из этих отклонений приведены в качестве диагностических признаков стойкого изменения личности после переживания катастрофы (F62.0).

Наиболее трудным представлялась оценка такого диагностического критерия ПТСР, как «симптомы повышения психологической чувствительности или возбудимости, не наблюдавшиеся до действия стрессора и провоцируемые стимулами, вызывающими воспоминания о травме или о первоначальной реакции на нее» (Критерий Г 2 признаков ПТСР по МКБ-10). Следует подчеркнуть, что реакции раздражения и гнева у ветеранов возникают не только в ответ на раздражители, связанные с перенесенной травмой. Часто они проявляются в ответ на любые иные эмоционально значимые раздражители. Кроме того, у ветеранов психическая травма и черепно-мозговая травма совпадали по времени, и симптомы возбудимости стали отмечаться после них. Точно также и в группах сравнения эти симптомы стали отмечаться уже после перенесенной травмы головы и проявлялись в ответ на самые различные проблемы. Поэтому фактическая дифференциация повышенной возбудимости, как признака ПТСР, и симптомов повышенной возбудимости иной этиологии на практике весьма затруднена. Причем симптомы повышенной возбудимости (раздражительности) у ветеранов отмечались врачами реже, чем у пациентов, не имевших боевого опыта, хотя данные различия не имели статистической значимости. Однако у ветеранов, в отличие от остальных пациентов, в большинстве случаев имели место проявления недержания аффекта с внезапными эксплозивными вспышками, которые, по самоотчетам или по объективным сведениям, сопровождались агрессивными высказываниями, а иногда и действиями. Важным отличием ветеранов от групп сравнения оказалось сочетание возбудимости со специфическими изменениями личности (у 20 ветеранов, 25%).

Другие симптомы невротического регистра у ветеранов прослеживались чаще ($p=0,0042$), чем в группе сравнения старшего возраста и с такой же частотой, как во второй группе сравнения аналогичного ветеранам возраста. Данные отличия в основном определялись распространенностью

¹ * «аффективные нарушения» и «эмоционально-волевые нарушения» – это понятия, часто применяемые при диагностике психических расстройств в военных лечебных учреждениях в связи с их использованием в руководящих документах, например в Приложении к положению о военно-врачебной экспертизе, а также в отчетных документах медицинской службы Минобороны. Они обозначают широкую группу психических отклонений пограничного регистра с преобладанием расстройств эмоций: от аффективной неустойчивости до тревожных и депрессивных синдромов.

Таблица 3

Психопатологические симптомы, выявленные у больных с органическими психическими расстройствами в связи с травмой головного мозга

№ п/п	Диагностированные синдромы	Вeterаны n = 80		Группа сравнения 1 n = 22		Группа сравнения 2 n = 14	
		абс.	%	абс.	%	абс.	%
1	Симптомы, соответствующие критериям стрессовых расстройств	50	62,5	15	68,2	12	85,7
1.1	Симптомы «вторжения»	17	21,3	–	–	1	7,1
1.2	Симптомы избегания	6	7,5	–	–	–	–
1.3	Симптомы возбудимости	45	56,3	15	68,2	9	64,3
1.3.1	Раздражительность	20	25,0	9	40,9	7	50,0
1.3.1	Эксплозивность	25	31,3	6	27,3	2	14,3
1.6	Изменения личности	24	30,0	–	–	–	–
2	Другие симптомы невротического регистра	72	90,0	16	72,7	14	100,0
2.1	Астеническая симптоматика	70	87,5	16	72,7	13	92,9
2.2	Инсомния	49	61,3	16	72,7	13	92,9
2.3	Панические приступы, АФ	4	5,0	–	–	1	7,1
2.4	Истерические симптомы	7	8,75	3	13,6	1	7,1
2.5	Диссоциативные симптомы	4	5,0	–	–	–	–
2.6	Соматоформные симптомы	7	8,75	1	4,6	1	7,1
2.7	Обсессии	1	1,25	1	4,6	–	–
2.8	Ипохондрия	17	21,3	4	18,2	4	28,6
3	Симптомы эмоциональных расстройств	56	70,0	14	63,6	13	92,9
3.1	Тревога	27	33,75	5	22,7	7	50,0
3.2	Депрессия	41	51,25	13	59,1	12	85,7
3.3	Дисфория	6	7,5	2	9,1	2	14,3
4	Аддиктивные расстройства	35	43,75	10	45,5	5	35,7
4.1	Злоупотребление алкоголем	12	15,0	1	4,6	4	28,6
4.2	Алкогольная зависимость	23	28,75	9	40,9	1	7,1
5	Умеренные когнитивные нарушения и другие симптомы органического поражения ЦНС	54	67,5	14	63,6	13	92,9
5.1	Ослабление памяти	37	46,25	11	50,0	10	71,4
5.2	Инертность мышления	51	63,75	14	63,6	12	85,7
5.3	Судорожные припадки	15	18,75	2	9,1	3	21,4
5.4	Неврологические симптомы	43	53,75	13	59,1	10	71,4
6	Психотические симптомы или деменция	15	18,75	7	31,8	1	7,1
6.1	Диссоциативные психозы	2	2,5	–	–	–	–
6.2	Галлюцинаторная, галлюцинаторно-бредовая, параноидная, аффективно-бредовая с-ка	4	5,0	3	13,6	–	–
6.3	Делириозная симптоматика	6	7,5	–	–	–	–
6.4	Сумеречное помрачение	3	3,75	–	–	1	7,1
6.5	Амнезия, дезориентировка	6	7,5	5	22,7	–	–

астенической симптоматики, которая у ветеранов наблюдалась чаще, чем у пациентов первой группы сравнения ($p=0,0008$) и так же часто, как у пациентов из второй группы. Другие симптомы и симптомокомплексы невротического регистра во

всех сравниваемых группах встречались в единичных случаях.

Среди симптомов эмоциональных нарушений значимыми ($p=0,043$) оказались только отличия в ча-

стоте депрессивных симптомов. Они чаще встречались у пациентов второй группы сравнения. Несколько чаще в этой группе отмечались и тревожная симптоматика. Значимых отличий между изучаемыми группами в частоте умеренных когнитивных расстройств, судорожных припадков и неврологических симптомов установлено не было, но эти симптомы несколько чаще прослеживались в группах сравнения.

В распространенности психотических расстройств значимых отличий между группой ветеранов и группами сравнения установлено не было. Однако обращает внимание, что среди ветеранов встречались пациенты, имевшие эндоформную галлюцинаторно-бредовую и делириозную симптоматику, что не было отмечено во второй группе сравнения.

Подводя итог сравнительного анализа психопатологии последствий черепно-мозговой травмы у ветеранов и военнослужащих, не имевших боевого опыта, можно обратить внимание, что широкий спектр симптомов, выявленных у ветеранов, почти равномерно был распределен между группами

симптомов невротического регистра и связанных со стрессом, симптомами эмоциональных нарушений и симптомами органического поражения головного мозга. Этим изучаемая группа отличалась от 1-й группы сравнения, в которой общая тяжесть психической патологии была несколько выше: реже наблюдались любые невротические симптомы и чаще тяжелые интеллектуально-мнестические нарушения. Во 2-й группе сравнения, также как у ветеранов, выявлялись преимущественно умеренные психические расстройства невротического регистра. Но, в отличие от ветеранов, у пациентов второй группы сравнения несколько чаще отмечались аффективные нарушения, симптомы органического поражения головного мозга и почти не выявлялись психотические расстройства. Т.о. полученные данные не позволяют утверждать, что обследованная группа ветеранов с органическими психическими расстройствами в связи с травмой головного мозга характеризуется более тяжелой психической патологией, чем пациенты, перенесшие травмы головы, но не имевшие боевого опыта. Напротив, у ветеранов отличия от других пациентов, в основном, ограничивались высокой

Таблица 4

*Синдромы невротического регистра и эмоциональных нарушений у ветеранов с непсихотическими органическими психическими расстройствами в связи с травмой головного мозга и невротическими расстройствами и расстройствами адаптации**

Диагностированные синдромы	Ветераны с органическими психическими расстройствами в связи с травмой головного мозга, у которых диагностированы синдромы невротические и аффективные (n = 55)		Ветераны с невротическими расстройствами и расстройствами адаптации (n = 51)	
	абс.	%	абс.	%
Астенический синдром	11	20,0	6	11,8
Неврозоподобный синдром или невротическое р-во БДУ	9	16,3	10	19,6
Паническое расстройство, тревожно-фобический синдром	–	–	4	7,8
Ипохондрический синдром	2	3,6	1	2,0
Соматоформное р-во или соматоформные нарушения	–	–	4	7,8
Диссоциативное р-во или диссоциативные нарушения	2	3,6	1	2,0
Кол-во пациентов с диагностированными синдромами невротического регистра	25	45,5	27	52,9
Депрессивный синдром	5	9,1	21	41,2
Аффективные нарушения	26	47,3	5	9,8
Кол-во пациентов с диагностированными синдромами аффективных расстройств	31	56,4	26	51,0

Примечание. * В группу ветеранов с органическими психическими расстройствами в связи с травмой головного мозга включены лишь те пациенты, у которых в диагнозе указывались синдромы невротические или аффективные. В эту группу не были включены пациенты с диагностированным психоорганическим синдромом, деменцией или психозом.

частотой диагностики органических психических расстройств в связи с травмой головного мозга и присутствием в их психопатологической картине сугубо психогенных нарушений, типичных для стрессовых расстройств – симптомов «вторжения» или повторного переживания травмы и симптомов избегания стимулов, связанных с психической травмой.

Представленное в таблице 4 сопоставление структуры диагностированных синдромов у ветеранов с органическими психическими расстройствами в связи с травмой головного мозга пограничного регистра и у ветеранов с невротическими расстройствами и расстройствами адаптации показало отсутствие значимых отличий в частоте невротических и аффективных расстройств. Некоторая, не достигавшая статистической значимости разни-

ца прослеживалась лишь в представленности отдельных вынесенных в диагноз невротических синдромов. Например, у ветеранов, страдавших невротическими расстройствами, диагностировались паническое расстройство и соматоформные нарушения, которых не было в диагнозах у ветеранов с последствиями ЧМТ. У последних, в свою очередь, в два раза чаще выявлялась астеническая симптоматика.

В таблице 5 представлено сравнение выявленных психопатологических симптомов и симптомокомплексов у ветеранов с непсихотическими органическими психическими расстройствами в связи с травмой головного мозга и ветеранов с диагностированными невротическими расстройствами и расстройствами адаптации. Чаще у ветеранов, получавших черепно-мозговые травмы,

Таблица 5

*Психопатологические симптомы, выявленные у ветеранов с непсихотическими органическими психическими расстройствами в связи с травмой головного мозга и невротическими расстройствами и расстройствами адаптации**

№ п/п	Диагностированные синдромы	Ветераны с органическими психическими расстройствами в связи с травмой головного мозга (n = 55)		Ветераны с невротическими расстройствами и расстройствами адаптации (n = 51)	
		абс.	%	абс.	%
1	Симптомы, соответств. критериям стрессовых расстройств	34	61,8	37	72,6
1.1	Симптомы «вторжения»	9	16,3	18	35,3
1.2	Симптомы избегания	5	9,1	5	9,8
1.3	Симптомы возбудимости	30	54,6	21	41,2
1.4	Раздражительность	13	23,6	16	31,4
1.5	Эксплозивность	17	30,9	5	9,8
1.6	Изменения личности	14	25,5	17	33,3
2	Другие симптомы невротического регистра	53	96,4	51	100,0
2.1	Астеническая симптоматика	47	85,5	44	86,3
2.2	Инсомния	35	63,6	26	51,0
2.3	Панические приступы, АФ	5	9,1	8	15,7
2.4	Истерические симптомы	5	9,1	5	9,8
2.5	Диссоциативные симптомы	3	5,5	1	2,0
2.6	Соматоформные симптомы	4	7,3	11	21,6
2.7	Обсессии	1	1,8	1	2,0
2.8	Ипохондрия	12	21,8	11	21,6
3	Симптомы эмоциональных расстройств	36	65,5	44	86,3
3.1	Тревога	24	43,6	24	47,1
3.2	Депрессия	34	61,8	37	72,6
3.3	Дисфория	3	5,5	5	9,8

Примечание. * В группу ветеранов с органическими психическими расстройствами в связи с травмой головного мозга включены лишь те пациенты, у которых в диагнозе указывались синдромы невротические или аффективные. В эту группу не были включены пациенты с диагностированным психоорганическим синдромом, деменцией или психозом.

возникали лишь взрывные реакции ($p=0,0019$). Большинство симптомов пограничного регистра у ветеранов, перенесших черепно-мозговые травмы, встречалось реже, чем у больных невротическими расстройствами или регистрировались с равной частотой в обеих данных когортах. При этом различия оказались значимыми лишь при сравнении симптомов повторного переживания травмы («вторжения») – они у ветеранов с невротическими расстройствами отмечались в два раза чаще ($p=0,0037$), а также при сопоставлении частоты соматоформных нарушений ($p=0,032$).

Заключение

В отличие от большинства военнослужащих и военных пенсионеров, у ветеранов локальных войн травма головного мозга оказалась одной из ведущих причин развития психической патологии. Органические психические расстройства в связи травмой головного мозга составляли почти треть всех диагнозов у ветеранов. Это оказалось в 3-4 раза чаще, чем у обследованных, не имевших боевого опыта.

Анализ выставленных диагнозов показал, что у обследованных ветеранов и пациентов из групп сравнения с органическими психическими расстройствами в связи с травмой головного мозга почти с равной частотой преобладали психопатологические синдромы невротического регистра. Однако имелись отличия по частоте более тяжелых синдромов – аффективных нарушений, психоорганического синдрома и деменции. В частности, у ветеранов и в группе сравнения аналогичного возраста чаще всего определялась невротическая симптоматика и аффективные нарушения, тогда как в 1-й группе сравнения относительно чаще диагностировались психоорганический синдром и деменция.

Преобладание в основной группе невротических и аффективных синдромов и, при этом, невысокая частота диагностики психоорганического синдрома свидетельствует о том, что в большинстве случаев у обследованных нами ветеранов имела место легкая травма головного мозга с умеренно выраженными психопатологическими последствиями. Высокий процент диагноза психотического расстройства в связи с травмой головного мозга, как показывает разбор конкретных клинических случаев, в основном, был связан с имеющейся коморбидной алкогольной зависимостью и развитием психозов в абстинентном периоде.

У пациентов из группы сравнения старшего возраста также часто, как у ветеранов, выявлялись невротические синдромы. Но в отличие от ветеранов у них реже диагностировались аффективные нарушения и чаще – психоорганический синдром и деменция. В таких случаях обычно прослеживалось более длительное течение болезни и продолжительное наблюдение у психиатра военной поликлиники. В связи с этим можно высказать предположение, что прогрессивное развитие органического психического расстройства происходит у пациентов с изначально более тяжелыми эмоциональными и когнитивными нарушениями и, следовательно, получивших более тяжелую травму. Психопатологическая симптоматика невротического уровня, которая обнаруживается, как правило, после перенесенной легкой травмы головы, по-видимому, имеет более благоприятный прогноз и, возможно, в большей степени обусловлена комбинацией механического воздействия на нервную ткань, влияния психогенных стресс-факторов и наличия конституционально-биологической предрасположенности.

Анализ отдельных психопатологических симптомов и симптомокомплексов, которые выявлялись у обследованных, показал, что группа ветеранов, в основном, отличалась от пациентов, не имевших боевого опыта, наличием симптомов-признаков посттравматического стрессового расстройства. С наибольшей частотой фиксировались симптомы повторного переживания, избегания психической травмы, а также изменения личности, которые непосредственно связаны с воздействием специфически боевых стресс-факторов. Симптомы повышенной возбудимости у ветеранов, напротив, встречались реже, чем в группах сравнения. Исключение составляли лишь взрывные реакции, которые у ветеранов возникали также часто, как у других пациентов. То есть их относительная частота среди проявлений повышенной возбудимости у ветеранов оказалась выше, чем у других пациентов. С учетом в целом относительно большей тяжести органических психических расстройств в группах сравнения, можно высказать предположение, что симптомы повышенной возбудимости у ветеранов имеют сложный генез, во многих случаях их появление следует относить к последствиям черепно-мозговой травмы. Вместе с тем имеющиеся у ветеранов изменения личности облегчают проявление в поведении недержания аффекта и агрессии.

Остальные выявленные симптомы и группы симптомов у ветеранов встречались с такой же часто-

той, как в группах сравнения, или реже. И хотя эта разница редко достигала уровня статистической значимости, полученные данные подтверждают, что у ветеранов, получающих лечение в госпитале, чаще всего органические психические расстройства в связи с травмой головного мозга отличаются относительно легкой выраженностью, что может быть объяснено их ранним обращением за помощью.

Сравнение диагностированных синдромов и психопатологических симптомов, выявленных у ветеранов с непсихотическими органическими психическими расстройствами в связи с травмой головного мозга и у ветеранов с невротическими расстройствами, демонстрирует то, что травма головного мозга легкой и умеренной тяжести вызывает психопатологические последствия, по своей структуре и выраженности аналогичные психогенным. В связи с этим Г.Е. Сухарева еще в 1943 году отмечала, что центральная нервная система имеет ограниченный набор способов и клинических форм реагирования на все разнообразие внешних патогенных влияний, что особенно явно проявляется при умеренной тяжести патогенного влияния, влекущего за собой развитие столь же умеренных, так называемых функциональных психопатологических последствий.

Представленные данные не дают оснований утверждать, что перенесенная в боевой обстановке травма головы формирует особую уязвимость индивида к воздействию боевых ментальных стресс-факторов и повышает у него риск развития ПТСР. У получавших черепно-мозговую травму, в сравнении с остальными ветеранами, не прослеживалось увеличения частоты и выраженности типичных проявлений стрессовых расстройств.

Литература

- Гиляровский, В. А. (1944). Психореактивные состояния и нервно-вегетативные реакции военного времени. *Военная медицина на Западном фронте в Великой Отечественной войне*, 8, 76–81.
- Литвинцев, С. В., Снедков, Е. В., Резник, А. М. (2005). Боевая психическая травма: *Руководство для врачей*. Издательство «Медицина».
- Лобастов, О. С., Спивак, Л. И. (1985) Организация психоневрологической помощи во время Великой Отечественной войны. В *Советская психиатрия в годы Великой Отечественной войны: Сборник научных трудов* (с. 7–14). Питер.
- Снежневский, А. В. (1947). К клинике травмы головного мозга взрывной волной. *Труды Центрального института психиатрии МЗ РСФСР*, 3, 162–178.
- Сухарева, Г. Е. (1943). Психогенные типы реакций военного времени. *Невропатология и психиатрия*, 12(2), 3–10.
- Тимофеев, Н. Н. (1945). Опыт организации психиатрической службы в период Отечественной войны. В *Тезисы докладов юбилейной сессии Центрального научно-исследовательского института психиатрии Наркомздрава РСФСР* (с. 23–26). Наркомздрав.
- Garber, B. G., Rusu, C., Zamorski, M. A. (2014). Deployment-related mild traumatic brain injury, mental health problems, and post-concussive symptoms in Canadian armed forces personnel. *BMC Psychiatry*, 14, Article 325. <https://doi.org/10.1186/s12888-014-0325-5>
- Glenn, D. M., Beckham, J. C., Feldman, M. E., Kirby, A. C., Hertzberg, M. A., Moore, S. D. (2002). Violence and hostility among families of Vietnam veterans with combat-related posttraumatic stress disorder. *Violence and Victims*, 17(4), 473–489. <https://doi.org/10.1891/vivi.17.4.473.33685>
- Hoge, C. W., McGurk, D., Thomas, J. L., Cox, A. L., Engel, C. C., Castro, C. A. (2008). Mild traumatic brain injury in U.S. soldiers returning from Iraq. *New England Journal of Medicine*, 358(5), 453–463. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa072972>
- Kennedy, J. E., Jaffee, M. S., Leskin, G. A., Stokes, J. W., Leal, F. O., Fitzpatrick, P. J. (2007). Posttraumatic stress disorder and posttraumatic stress disorder-like symptoms and mild traumatic brain injury. *Journal of Rehabilitation, Research and Development*, 44(7), 895–920. <https://doi.org/10.1682/JRRD.2006.12.0166>
- Koren, D., Hemel, D., Klein, E. (2006). Injury increases the risk for PTSD: An examination of potential neurobiological and psychological mediators. *CNS Spectrums*, 11(8), 616–624. <https://doi.org/10.1017/S1092852900013675>
- Miller, S. C., Whitehead, C. R., Otte, C. N., Wells, T. S., Webb, T. S., Gore, R. K., Maynard, C. (2015). Risk for broad-spectrum neuropsychiatric disorders after mild traumatic brain injury in a cohort of US Air Force personnel. *Occupational & Environmental Medicine*, 72(8), 560–566. <https://doi.org/10.1136/oemed-2014-102646>
- Morissette, S. B., Woodward, M., Kimbrel, N. A., Meyer, E. C., Kruse, M. I., Dolan, S., Gulliver, S. B. (2011). Deployment-related TBI, persistent postconcussive symptoms, PTSD, and depression in OEF/OIF veterans. *Rehabilitation Psychology*, 56 (4), 340–350. <https://doi.org/10.1037/a0025462>
- Perkonig, A., Kessler, R. C., Storz, S., Wittchen, H. U. (2000). Traumatic events and post-traumatic stress disorder in the community: Prevalence,

- risk factors and comorbidity. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 101(1), 46–59. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0447.2000.101001046.x>
- Polusny, M. A., Kehle, S. M., Nelson, N. W., Erbes, C. R., Arbisi, P. A., Thuras, P. (2011). Longitudinal effects of mild traumatic brain injury and post-traumatic stress disorder comorbidity on post-deployment outcomes in national guard soldiers deployed to Iraq. *Archives of General Psychiatry*, 68(1), 79–89. <https://doi.org/10.1001/archgenpsychiatry.2010.172>
- Ruff, R. L., Riechers, R. G., Wang, X. F., Piero T., & Ruff S. S. (2012). A case-control study examining whether neurological deficits and PTSD in combat veterans are related to episodes of mild TBI. *BMJ Open*, 2(2), Article e000312. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2011-000312>
- Schneiderman, A. I., Braver, E. R., Kang, H. K. (2008). Understanding sequelae of injury mechanisms and mild traumatic brain injury incurred during the conflicts in Iraq and Afghanistan: Persistent post-concussive symptoms and posttraumatic stress disorder. *American Journal of Epidemiology*, 167(12), 1446–1452. <https://doi.org/10.1093/aje/kwn068>
- Stein, M. B., Kessler, R. C., Heeringa, S. G., Jain, S., Campbell-Sills, L., Colpe, L. J., ... Fullerton, C. S. (2015). Prospective longitudinal evaluation of the effect of deployment-acquired traumatic brain injury on posttraumatic stress and related disorders: Results from Army Study to Assess Risk and Resilience in Servicemembers (Army STARRS). *The American Journal of Psychiatry*, 172(11), 1101–1111. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2015.14121572>
- Taylor, B. C., Hagel, E. M., Carlson, K. F., Cifu, D. X., Cutting, A., Bidelsbach, D. E., Sayer, N. A. (2012). Prevalence and costs of co-occurring traumatic brain injury with and without psychiatric disturbance and pain among Afghanistan and Iraq War Veteran V.A. users. *Medical Care*, 50(4), 342–346. <https://doi.org/10.1097/MLR.0b013e318245a558>
- Vasterling, J. J., Verfaellie, M., Sullivan, K. D. (2009). Mild traumatic brain injury and posttraumatic stress disorder in returning veterans: Perspectives from cognitive neuroscience. *Clinical Psychology Review*, 29(8), 674–684. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2009.08.004>
- Vasterling, J. J., Jacob, S. N., & Rasmusson, A. (2018). Traumatic brain injury and posttraumatic stress disorder: Conceptual, diagnostic, and therapeutic considerations in the context of co-Occurrence. *The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, 30(2), 91–100. <https://doi.org/10.1176/appi.neuropsych.17090180>
- Wilk, J. E., Herrell, R. K., Wynn, G. H., Riviere, L. A., Hoge, C. W. (2012). Mild traumatic brain injury (concussion), posttraumatic stress disorder, and depression in U.S. soldiers involved in combat deployments: association with postdeployment symptoms. *Psychosomatic Medicine*, 74(3), 249–257. <https://doi.org/10.1097/PSY.0b013e318244c604>
- Zatzick, D. F., Rivara, F. P., Jurkovich, G. J., Hoge, C. W., Wang, J., Fan, M.-Y., Russo, J., Trusz, S. G., Nathens, A., & Mackenzie, E. J. (2010). Multisite investigation of traumatic brain injuries, posttraumatic stress disorder, and self-reported health and cognitive impairments. *Archives of General Psychiatry*, 67(12), 1291–1300. <https://doi.org/10.1001/archgenpsychiatry.2010.158>

Mental Disorders of Local Wars Veterans Suffered from Traumatic Brain Injury

Aleksandr M. Reznik

Moscow University of Food Production

Correspondence concerning this article should be addressed to Aleksandr M. Reznik, Moscow State University of Food Production, 11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation. E-mail: a.m.reznik1969@gmail.com

264 veterans of the local wars which have passed treatment in psychiatric unit of military hospital were surveyed. Groups of comparison included the career military servicemen and retirees, who were not taking part in combat actions. The first group (296 people) included all patients who passed treatment in psychiatric hospital department in 1999. Second comparison group (125 people) was completed from patients of psychiatric hospital department in such manner as to correspond not only to the middle age, but also to the age distribution curve of the main group. The frequency of organic mental disorder due to brain trauma appeared more often among combat veterans (30.3%) than among the patients who were not taking part in the actions (7.4% and 12%, respectively). In all three compared groups the non-psychotic symptoms were prevalent. The symptoms of stress disorders were the main difference of veterans from other patients. The combat-related personality disorders (30%) and intrusive symptoms (21.3%) were among them. The occurrence of excitability in veterans with organic mental disorder due to brain trauma (56.3%) has not significant difference from the comparison groups (68.2% and 80% respectively). But in veterans the hyperarousal symptoms were often associated with personality disorders and aggressive behavior. The psychopathology among veterans with organic mental disorder due to brain trauma with predominant functional or neurotic register symptoms (56 people) and veterans with diagnosis of neurotic disorder or adjustment disorder (51 people) was compared and the appreciable differences in their symptoms were not diagnosed.

Keywords: combat stress, combat stress disorder, posttraumatic stress disorder, mild traumatic brain injury, concussion, postconcussive symptoms, organic mental disorder

References

- Gilyarovskiy, V. A. (1944). Psychoreactive conditions and wartime neuro-vegetative reactions. *Voennaya medicina na Zapadnom fronte v Velikoj Otechestvennoj vojne* [Military medicine on the Russian Western Front in Great Patriotic War (World War II)], 8, 76–81.
- Litvincev, S. V., Snedkov, E. V., Reznik, A. M. (2005). *Boevaya psichicheskaya travma: Rukovodstvo dlya vrachej* [Combat Mental Trauma: Guideline for Physicians]. Medicina.
- Lobastov, O. S., Spivak, L. I. (1985) Organization of neuropsychiatric aid during the Great Patriotic War. In *Sovetskaya psichiatriya v gody Velikoj Otechestvennoj vojny. Sbornik nauchnyh trudov* [Soviet psychiatry during the Great Patriotic War: Collection of scientific papers] (pp. 7–14). Piter.
- Snezhnevskij, A. V. (1947). To the clinic of burst wave brain injury. *Trudy Centr. instituta psichiatrii MZ RSFSR* [Proceedings of the Central Institute of Psychiatry of the Ministry of Health of Russia], 3, 162–178.
- Sukhareva, G. E. (1943) Psychogenic types of war-time reactions. *Nevropatologiya i psichiatriya* [Neuropathology and Psychiatry], 12(2), 3–10.
- Timofeev, N. N. (1945). The experience of organizing psychiatric services during the Great Patriotic War. In *Tezisy dokladov yubilejnoj sessii Central'nogo nauchno-issledovatel'skogo instituta psichiatrii Narkomazdrava RSFSR* [Abstracts of the anniversary session of the Central Research Institute of Psychiatry of the People's Commissariat of Health of the Soviet Russia (RSFSR)] (pp. 23–26). Narkomzdrav.
- Garber, B. G., Rusu, C., Zamorski, M. A. (2014). Deployment-related mild traumatic brain injury, mental health problems, and post-concussive symptoms in Canadian armed forces personnel. *BMC Psychiatry*, 14, Article 325. <https://doi.org/10.1186/s12888-014-0325-5>
- Glenn D.M., Beckham J.C., Feldman M.E., Kirby A.C., Hertzberg M.A., Moore S.D. (2002). Violence and

How to Cite

Reznik, A. M. (2020). Mental Disorders in Veterans of Local Wars Suffered from Brain Injury. *Health, Food & Biotechnology*, 2(1). <https://doi.org/10.36107/hfb.2020.i1.s168>

- hostility among families of Vietnam veterans with combat-related posttraumatic stress disorder. *Violence and Victims*, 17 (4), 473–489. <https://doi.org/10.1891/vivi.17.4.473.33685>
- Hoge, C. W., McGurk, D., Thomas, J. L., Cox, A. L., Engel, C. C., Castro, C. A. (2008). Mild traumatic brain injury in U.S. soldiers returning from Iraq. *New England Journal of Medicine*, 358(5), 453–463. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa072972>
- Kennedy, J. E., Jaffee, M. S., Leskin, G. A., Stokes, J. W., Leal, F. O., Fitzpatrick, P. J. (2007). Posttraumatic stress disorder and posttraumatic stress disorder-like symptoms and mild traumatic brain injury. *Journal of Rehabilitation, Research and Development*, 44(7), 895–920. <https://doi.org/10.1682/JRRD.2006.12.0166>
- Koren, D., Hemel, D., Klein, E. (2006). Injury increases the risk for PTSD: An examination of potential neurobiological and psychological mediators. *CNS Spectrums*, 11(8), 616–624. <https://doi.org/10.1017/S1092852900013675>
- Miller, S. C., Whitehead, C. R., Otte, C. N., Wells, T. S., Webb, T. S., Gore, R. K., Maynard, C. (2015). Risk for broad-spectrum neuropsychiatric disorders after mild traumatic brain injury in a cohort of US Air Force personnel. *Occupational & Environmental Medicine*, 72(8), 560–566. <https://doi.org/10.1136/oemed-2014-102646>
- Morissette, S. B., Woodward, M., Kimbrel, N. A., Meyer, E. C., Kruse, M. I., Dolan, S., Gulliver, S. B. (2011). Deployment-related TBI, persistent postconcussive symptoms, PTSD, and depression in OEF/OIF veterans. *Rehabilitation Psychology*, 56(4), 340–350. <https://doi.org/10.1037/a0025462>
- Perkonig, A., Kessler, R. C., Storz, S., Wittchen, H. U. (2000). Traumatic events and post-traumatic stress disorder in the community: Prevalence, risk factors and comorbidity. *Acta Psychiatrica Scandinavica*, 101(1), 46–59. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0447.2000.101001046.x>
- Polusny, M. A., Kehle, S. M., Nelson, N. W., Erbes, C. R., Arbisi, P. A., Thuras, P. (2011). Longitudinal effects of mild traumatic brain injury and post-traumatic stress disorder comorbidity on post-deployment outcomes in national guard soldiers deployed to Iraq. *Archives of General Psychiatry*, 68(1), 79–89. <https://doi.org/10.1001/archgenpsychiatry.2010.172>
- Ruff, R. L., Riechers, R. G., Wang, X. F., Piero T., & Ruff S. S. (2012). A case-control study examining whether neurological deficits and PTSD in combat veterans are related to episodes of mild TBI. *BMJ Open*, 2(2), Article e000312. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2011-000312>
- Schneiderman, A. I., Braver, E. R., Kang, H. K. (2008). Understanding sequelae of injury mechanisms and mild traumatic brain injury incurred during the conflicts in Iraq and Afghanistan: Persistent post-concussive symptoms and posttraumatic stress disorder. *American Journal of Epidemiology*, 167(12), 1446–1452. <https://doi.org/10.1093/aje/kwn068>
- Stein, M. B., Kessler, R. C., Heeringa, S. G., Jain, S., Campbell-Sills, L., Colpe, L. J., ... Fullerton, C. S. (2015). Prospective longitudinal evaluation of the effect of deployment-acquired traumatic brain injury on posttraumatic stress and related disorders: Results from Army Study to Assess Risk and Resilience in Servicemembers (Army STARRS). *The American Journal of Psychiatry*, 172(11), 1101–1111. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2015.14121572>
- Taylor, B. C., Hagel, E. M., Carlson, K. F., Cifu, D. X., Cutting, A., Bidelsbach, D. E., Sayer, N. A. (2012). Prevalence and costs of co-occurring traumatic brain injury with and without psychiatric disturbance and pain among Afghanistan and Iraq War Veteran V.A. users. *Medical Care*, 50(4), 342–346. <https://doi.org/10.1097/MLR.0b013e318245a558>
- Vasterling, J. J., Verfaellie, M., Sullivan, K. D. (2009). Mild traumatic brain injury and posttraumatic stress disorder in returning veterans: Perspectives from cognitive neuroscience. *Clinical Psychology Review*, 29(8), 674–684. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2009.08.004>
- Vasterling, J. J., Jacob, S. N., & Rasmussen, A. (2018). Traumatic brain injury and posttraumatic stress disorder: Conceptual, diagnostic, and therapeutic considerations in the context of co-Occurrence. *The Journal of Neuropsychiatry and Clinical Neurosciences*, 30(2), 91–100. <https://doi.org/10.1176/appi.neuropsych.17090180>
- Wilk, J. E., Herrell, R. K., Wynn, G. H., Riviere, L. A., Hoge, C. W. (2012). Mild traumatic brain injury (concussion), posttraumatic stress disorder, and depression in U.S. soldiers involved in combat deployments: association with postdeployment symptoms. *Psychosomatic Medicine*, 74(3), 249–257. <https://doi.org/10.1097/PSY.0b013e318244c604>
- Zatzick, D. F., Rivara, F. P., Jurkovich, G. J., Hoge, C. W., Wang, J., Fan, M.-Y., Russo, J., Trusz, S. G., Nathens, A., & Mackenzie, E. J. (2010). Multisite investigation of traumatic brain injuries, posttraumatic stress disorder, and self-reported health and cognitive impairments. *Archives of General Psychiatry*, 67(12), 1291–1300. <https://doi.org/10.1001/archgenpsychiatry.2010.158>

Развитие индустрии здорового питания с использованием прогрессивных информационных решений

Белова Юлия Николаевна, Максимов Алексей Сергеевич, Ношин
Артем Алексеевич, Суворов Олег Александрович, Яблоков
Александр Евгеньевич, Якушев Алексей Олегович

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Корреспонденция, касающаяся этой статьи, должна быть адресована Беловой Ю.Н., ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», адрес: 125080, город Москва, Волоколамское шоссе, дом 11. E-mail: belovayn@mgupr.ru

В современных условиях конкуренции предприятия общественного питания, в том числе и рестораны, вынуждены разрабатывать и использовать различные технологии привлечения клиентов. Значительную роль здесь играют маркетинговые методы, однако, обычной рекламы в средствах массовой информации уже недостаточно. Для поддержания конкурентоспособности рестораны разрабатывают оригинальные и современные способы и подходы к ведению бизнеса, которые уже невозможны без применения новых информационных технологий. Цель исследования – изучить возможности повышения эффективности деятельности предприятий общественного питания, в том числе кафе и ресторанов, за счет использования новейших тенденций в данной сфере. Исследование проводилось в условиях лаборатории кулинарного искусства «Кухня-студия» МГУПП с апробацией в Учебном центре РЕСТОРАН-БАР МГУПП совместно с лабораториями кафедры «Информатика и вычислительная техника».

После анализа мировых трендов цифровизации пищи были выбраны и разработаны анимационные решения и интерфейсы под них для повышения эффективности ресторанов и популяризации здорового образа жизни, в частности – электронное меню в дополненной реальности (AR). Области применения решений проекта – кафе, рестораны, кейтеринг премиум и массового сегмента, предприятия общественного питания с элементами электронной коммерции. Полученные в ходе исследования результаты позволяют утверждать, что проект ресторана здорового питания с элементами виртуальной и смешанной реальности будет востребован организациями общественного питания и интересен для их посетителей.

Ключевые слова: ресторан, дополненная реальность, AR, VR, интерактив, индустрия здорового питания, мобильные приложения, электронное меню

Введение

В условиях современной экономики и жестокой конкуренции для предприятий гостинично - ресторанного сегмента рынка (HoReCa) важным направлением является получение прибыли за счет развития и совершенствования системы обслуживания посетителей, а, так как научно-технический прогресс не стоит на месте, все более актуальным для любого современного предприятия является применение в работе новейших информационных технологий (Ерлыгина & Яманов, 2020).

Анализ различных источников о повышении эффективности работы ресторанов и других пунктов общественного питания посредством ИТ-решений можно свести к одному утверждению: «Приверженцы электронного меню утверждают, что заказы осуществлять значительно проще, быстрее и порой даже забавнее».¹

При этом обычным электронным меню сейчас уже посетителей не удивишь – это решение стремительно ворвалось в сектор HoReCa и заняло в нем устойчивое место. Многочисленные сайты, напри-

¹ Любецкая, Т. Р. (2019). Организация обслуживания в индустрии питания: учебник. Лань.

мер, [www.alibaba.com](https://www.alibaba.com/showroom/electronic-menu-restaurant.html),² предлагают электронные меню с интерфейсом практически на любой вкус.

В поисках оригинального решения, которое позволило бы дать конкурентоспособное преимущество ресторанам и прочим заведениям общественного питания, авторский коллектив проанализировал различные научные труды и исследования по этой теме. Анализ исследований преследовал две цели: первую – подтвердить гипотезу о том, что применение новейших информационных технологий (далее – НИТ) позволит привлечь посетителей в пункты общественного питания, и вторую – выбрать приемлемые и наиболее привлекательные для клиентов информационные цифровые технологии для предоставления информации о предлагаемых блюдах.

Анализ многочисленных источников показал значительное разнообразие существующих в этой области информационных решений³ и методических подходов (Долматова & Латыпова, 2015; Смыкова & Рахимбекова, 2019; Головин, 2019; Oliva-Felipe et al., 2018 и др.). Интересной нам показалась, например, концепция цифрового интерактивного стола, созданная студентами Университета Лунда и Технологического университета Эйндховена для Ikea's Concept Kitchen 2025.⁴ Также отметим статью⁵ о футуристической концепции для ресторанов. Планшетный компьютер Fujitsu Iris был создан с концепцией прозрачного планшета и использованием OLED-дисплея. В своем видео с практическими рекомендациями он помещен в футуристические ситуации, где настоятельно рекомендуется дополненная реальность. Концепция прозрачного экрана работает как дополнительный барьер между взаимодействием реального и расширенного мира.

Однако во всех работах разделялись диетологическая составляющая и информационная. Вместе с тем, системный подход при разработке методов и средств визуализации предлагаемых заведением блюд, с дальнейшей интеграцией визуальных образов в электронное меню заведения, способен привести к значительному синергетическому эффекту.

Для комплексного конкурентоспособного решения на начальном этапе требуется соединить разрабо-

танное профессионалами-нутриетологами здоровое меню, способ его «представления» клиенту (в данном случае – цифровой с использованием НИТ) и технологии улучшения этого «представления».

Исследования по созданию комплексного решения для ресторанов, соединяющего в себе все актуальные тенденции проведены в Московском государственном университете пищевых производств (МГУПП), который по праву является лидирующим ВУЗом в области пищевых производств. Сочетание актуального сейчас тренда здорового питания и бурно развивающихся ИТ-технологий позволит создать инновационный, востребованный ИТ-продукт для предприятий общественного питания.

Исследование, касающееся составления сбалансированного функционального меню для заведений сектора HoReCa, будет опубликовано отдельно.

Целью данной работы является повышение экономической эффективности и конкурентоспособности заведения в ресторанном бизнесе на основе роста лояльности посетителей, посредством использования ИТ-технологий с элементами виртуальной и дополненной реальности, а также пропаганда здорового питания. Также данный проект будет способствовать социальной эффективности и развитию культуры питания.

Для достижения указанной цели были поставлены и решены следующие задачи:

1. проанализировать современные тенденции в области НИТ применительно к сегменту HoReCa;
2. провести анализ существующих ИТ-технологий в области визуализации блюд и создания электронного меню в сегменте HoReCa;
3. выявить отношение владельцев организаций сегмента HoReCa и клиентов к предложенной концепции электронного меню с элементами визуализации предлагаемых блюд.
4. разработать электронное меню с элементами компьютерной графики для ресторана здорового питания;

В работе выдвинуты следующие положения:

1. визуальная композиция еды на тарелке является мотивирующим фактором при выборе

² <https://www.alibaba.com/showroom/electronic-menu-restaurant.html>

³ Future Book 202X. URL: <https://futurebook.localkitchen.ru/>

⁴ Movie: All-in-one Digital Kitchen Table for Ikea Suggests Recipes. Dezeen All In One Digital Table for Ikea Suggests Recipes Based on Leftover Ingredients Comments. 2015. <http://www.dezeen.com/2015/05/27/movie-digital-table-ikea-ideo-suggests-recipes-leftover-ingredients/>.

⁵ Seth, R. (2011). *Iris – My Kinda Tablet*. Yanko Design. <http://www.yankodesign.com/2011/08/25/iris-my-kinda-tablet/>.

блюда, способствует большей удовлетворенности клиента после посещения заведения общественного питания (Борзова, 2011);

2. ИТ-технологии способствуют привлечению клиентов в заведения класса HoReCa и повышают среднюю сумму чека (Нестик, 2017; Родичева & Суханова, 2019).

Методика исследования

Участники

Для реализации данного исследования была сформирована рабочая группа МГУПП из числа преподавателей и студентов различных курсов.

Непосредственно в работе над проектом участвуют следующие кафедры МГУПП:

- кафедра индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса;
- кафедра прикладной механики и инжиниринга технических систем;
- кафедра «Общий и таможенный менеджмент»;
- кафедра «Информатика и вычислительная техника пищевых производств».

Заинтересованными лицами результатов исследований и, следовательно, целевыми потребителями, являются предприятия общественного питания, субъекты электронной коммерции (интернет-покупки, сайты-агрегаторы), рестораны, кафе, кейтеринг массового сегмента и прочие организации сегмента HoReCa, а также их клиенты.

Методы

Задачи исследования выполнялись посредством классических методов анализа и синтеза информации. Были изучены различные сайты, видео- и литературные источники, после чего выбраны наиболее востребованные и вызывающие интерес ИТ-решения.

Задача, связанная с анализом потребительских предпочтений, решалась методом анкетирования целевой фокус-группы с дальнейшим статистическим анализом результатов.

Процедура исследования

Анализ современных тенденций в области НИТ для сегмента HoReCa

В современном мире информационных технологий владельцы кафе и ресторанов стараются избавиться от меню на бумаге.⁶ Многие рестораны переходят на электронное меню⁷ и электронную систему заказов (Цой & Куткина, 2018; Bundasak & Chinnasarn, 2013). К преимуществам электронного меню можно отнести электронный вызов официанта, поддержку нескольких иностранных языков (Aditi, 2015), возможность легко изменять состав меню, его дизайн и структуру. Из-за широкого распространения электронных меню, они уже не кажутся потребителям чем-то необычным и не вызывают особых впечатлений. Дальнейшие изыскания в этой области привели к выводу, что повысить популярность заведения и спрос в нём возможно за счёт добавления различных НИТ, такие как, например, дополненная реальность (AR) и виртуальная реальность (VR).

Можно определить AR как сложную информационную систему, которая выполняет следующие основные функции: совмещает виртуальное и реальное; взаимодействует в реальном времени; работает с моделями 3D (Цветков, 2017; Van Krevelen, 2007).

В визуальном моделировании развивают два направления: замену реальности путем создания ее виртуальной модели в искусственном информационном поле и дополнение реальности за счет создания многослойной информативной модели, которая не присуща человеческому восприятию. Первое направление называют виртуальным моделированием, а модель, созданную на ее основе, называют виртуальной реальностью (Tsvetkov, 2016).

Дополненная реальность уже нашла применение в различных сферах маркетинга и используется, например, в мобильных приложениях для покупки продуктов (Ahn, Williamson, Gartrell, Han, Lv & Mishra, 2016).

Визуальное изображение также используется как способ развлечь или отвлечь клиентов, ждущих своего заказа. Из найденных существующих решений нам показались интересными 3D-шоу Le Petit Chef⁸, а также предложения посетителям различных игровых приложений в виде игр с дополненной реальностью. Из последних, как пример,

⁶ Sharma, A. (2015). Digital Restaurant EMenu – Get Rid of the Traditional Paper Menu. LinkedIn.

⁷ Электронное меню для HORECA. URL <http://www.arbus.biz>. URL: <http://www.arbus.biz/automatic/p/elektronnoe-menyu/>

⁸ Технология 3D mapping: посетителей ресторанов развлечет 3D-повар. IT News URL: <https://www.it-world.ru/it-news/tech/143221.html>

приведем игровое приложение Chipotle «Пугало». Пока клиенты ждут своего заказа, оно рассказывает им о происхождении еды (Jack, & Zakrzewski, 2016).

Ещё одной проблемой для рестораторов являются жалобы клиентов на размер порций. Часто люди жалуются, что размер порций слишком маленький и не соответствует их ожиданиям. Клиенты чувствуют неудовлетворенность, если заказанное ими блюдо не похоже на изображение, относящееся к конкретному блюду (Marge, Ledikwe, Flood & Rolls). Поэтому изображения блюд в меню должны быть реалистичными и отражать истинный размер порций.

Исследования влияния зрительных образов блюд на потребительские предпочтения клиентов

Когда стоит выбор между «полезной» едой (салата с овощами) и «вредной» (гамбургером) большинство студентов и даже сотрудников университета выбирают менее полезный для здоровья вариант. Для того чтобы склонить потребителей к выбору здоровой пищи, предлагается использовать визуализацию более полезных для здоровья блюд.

Результаты кросс-культурного исследования США, Италии и Японии (Zampollo, Wansink, Kniffin, Shimizu & Omori, 2011) подтверждают, что качественная визуальная композиция еды на тарелках влияет на выбор клиента.

С целью определения влияния визуальных образов блюд на потребительские предпочтения по-

Рисунок 1

Изображение салата с инжиром, авокадо и фермерским сыром



сетителей точек общественного питания в столовой МГУПП было проведено три эксперимента. В экспериментах «в слепую» учувствовали 120 посетителей столовой из числа студентов и профессорско-преподавательского состава в обеденное время (с 12 до 14 часов). Первая, «контрольная» группа из 40 человек выбирала блюда в обычном для себя формате, без дополнительного визуального воздействия.

Для второй группы из 40 человек демонстрировали статичные визуальные образы более полезных блюд – салатов (из имеющихся в наличии) на широкоформатных цифровых мониторах 32" на расстоянии 2-3 метра от стоек бара. Пример такого изображения приведен на рисунках 1 и 2. Фотографии блюд выполнялись с учетом рекомендаций⁹ профессиональных фотографов (Charles, Woods, Neuhäuser, Landgraf & Spence, 2015).

Третьей группе посетителей из 40 человек демонстрировали подвижные, вращающиеся изображения салатов с разрешением Ultra HD(4K).

По результатам экспериментов были проанализированы количество заказанных салатов для каждой из трех групп потребителей и их средняя сумма чека. В исследовании учитывали гендерные особенности в потребительских предпочтениях.

Выявление отношения владельцев организаций сегмента HoReCa и клиентов к выработанной концепции.

После выявления наиболее востребованных подходов в плане использования VR и AR нами была

Рисунок 2

Изображение брускекты с креветками



⁹ Bellingham, Linda, Bybee, Jean Ann, and Rogers, Brad G. 2012. "More Food Styling for Photographers & Stylists: A guide to creating your own appetizing art." Saint Louis, USA: Focal Press. ProQuest ebrary

разработана анкета для владельцев организаций сегмента HoReCa и для потребителей. На данном этапе в роли тех и других выступали студенты старших курсов кафедры Индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, однако мы планируем – в рамках шестой задачи- провести опрос среди реальных владельцев сегмента HoReCa, продемонстрировав им уже готовое решение, и получить более конкретные данные. На настоящем этапе можно считать наш опрос некоторым моделированием реальной ситуации.

В анкете предлагались следующие основные вопросы:

Для «владельцев» предприятий HoReCa:

1. Хотели бы Вы использовать AR и VR технологии для привлечения клиентов?
2. Задумывались ли Вы над использованием AR и VR технологий для привлечения клиентов?
3. Считаете ли Вы, что средства, вложенные в разработку AR и VR-решений, окупятся в короткий срок?

Для клиентов:

1. Хотели бы Вы при посещении кафе/ресторана или при заказе продукции онлайн иметь возможность рассмотреть Ваш заказ в трехмерном виде?
2. Хотели бы Вы при посещении кафе/ресторана иметь возможность установить на телефон или планшет приложение, которое визуально покажет Вам процесс изготовления заказа и даст дополнительную информацию об ингредиентах?

3. Повлияет ли подобное приложение (из вопроса 2) на Ваш выбор блюд?

Результаты анкетирования приведены в виде диаграмм в следующем разделе.

Результаты

Итоги по выбору современных тенденций в области НИТ для сегмента HoReCa

Проведенный анализ показал, что наиболее востребованными НИТ в данном сегменте являются электронное меню, расширенное технологиями AR, а также различные VR-решения для развлечения посетителей, ожидающих заказа.

Итоги по исследованиям на основе анкетирования потребителей

Исследования показали, что демонстрация статичных визуальных образов салатов на широкоформатных цифровых мониторах 32" на расстоянии 2-3 метра от стоек бара увеличили продажи салатов на 42%. Еще больший эффект по управлению потребительскими предпочтениям, склонению потребителей в сторону более здорового варианта питания был получен при использовании подвижных, вращающихся изображений более полезных блюд.

Использование вращающихся изображений салатов с разрешением Ultra HD(4K) вызвало увеличение потребления демонстрируемых блюд на 60%.

Диаграмма 1

Результаты анкетирования «владельцев» предприятий HoReCa

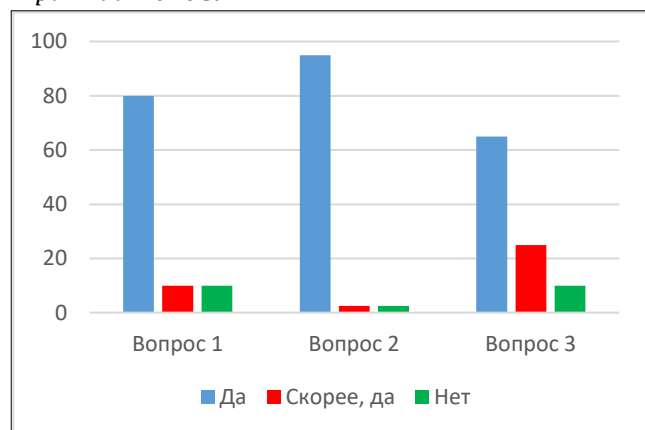


Диаграмма 2

Результаты анкетирования «клиентов» предприятий HoReCa

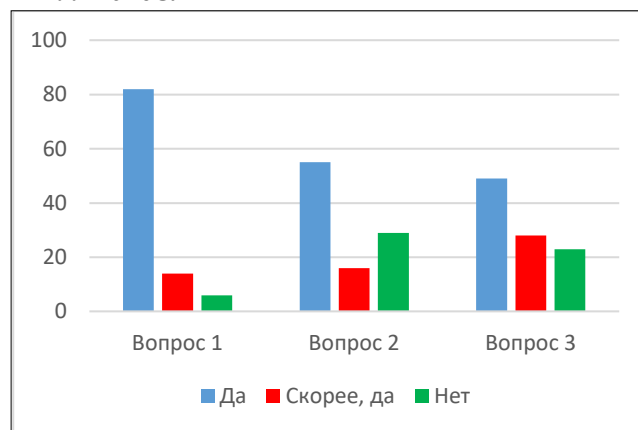
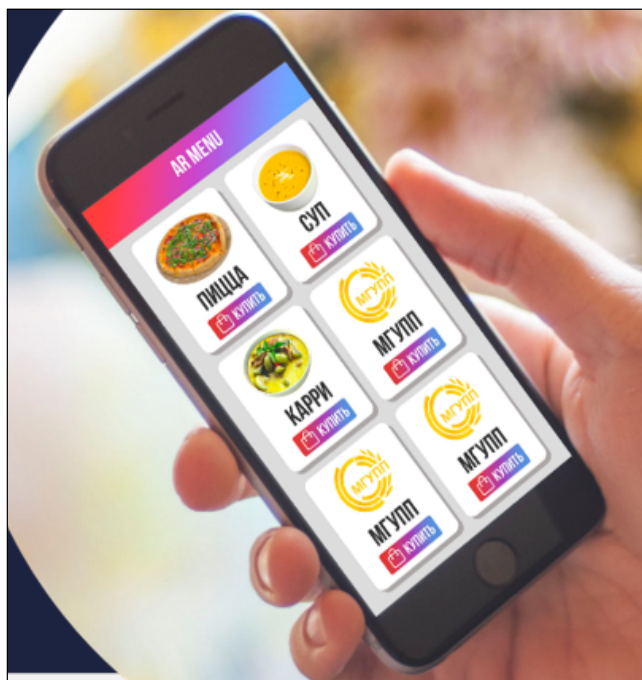


Рисунок 3
Интерфейс приложения AR MENU



Исследования также выявили гендерные особенности в потребительских предпочтениях: мужчины на 12% оказались более подверженными влиянию такого визуального убеждения.

Итоги по выявлению отношения владельцев организаций сегмента HoReCa и клиентов к выработанной концепции

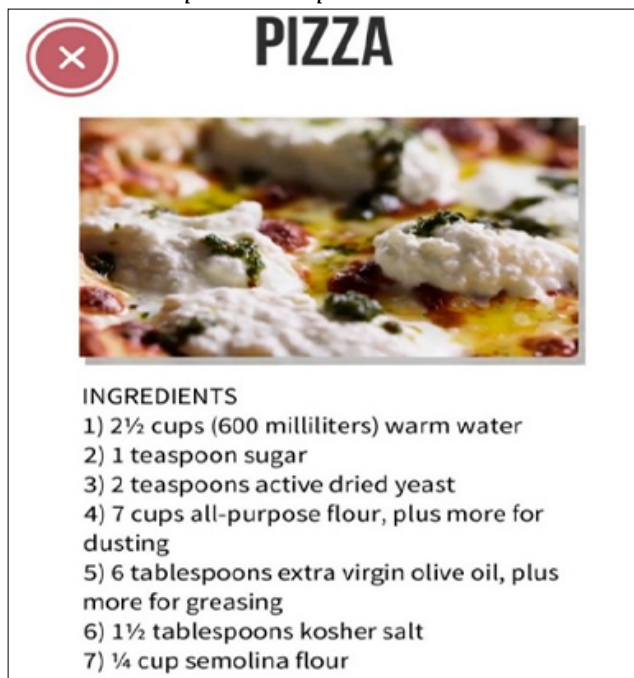
Здесь приводим в виде диаграмм ответы на некоторые наиболее значимые вопросы из анкет, описанных в предыдущем разделе.

Напоминаем, что здесь для краткости представлены ответы только на наиболее значимые, с нашей точки зрения, вопросы.

Результаты по разработке приложения для заказа меню с применением дополненной реальности

Разработан прототип интерфейса приложения, концепция которого на данном этапе заключается в следующем: клиент скачивает приложение на свое мобильное устройство, при выборе меню наводит телефон на метку с логотипом ресторана (в тестовом варианте использовался логотип МГУПП), и на экране видит трехмерное изображе-

Рисунок 4
Изображение загруженной страницы приложения AR MENU с перечнем ингредиентов блюда



ние блюд из меню ресторана, отображаемое на основе 3D-модели.

Клиент может во всех подробностях рассмотреть блюдо с различных ракурсов и принять – мы надеемся, положительное – решение о заказе. Интерфейс приложения приведен на рисунках 3 и 4.

Обсуждение полученных результатов

Авторы считают, что полученные результаты исследования, во-первых, однозначно подтвердили выдвинутые гипотезы, и, во-вторых, позволили выработать траекторию действий в работе над проектом. Результаты подтверждают факты и тезисы, выдвинутые в работах Martel, 2013 и многих других, связанных с переходом ресторанов к электронному цифровому меню и рассматривающие преимущества дополненной реальности для пищевой промышленности.¹⁰

Соответственно, рассмотренные решения не новы, и для создания оригинального проекта авторам требуется более тщательно подойти к выбору технологий реализации и продумать, какие еще ин-

¹⁰ Singh, R. (2016). What Are the Benefits of Amalgamating Augmented Reality in the Food & Beverage Industry” Entrepreneur. URL <https://www.entrepreneur.com/article/281768>

тегративные решения возможно использовать для проекта «Невероятная реальность».

Преимущество данной разработки будет заключаться во всестороннем подходе к разработке AR MENU с привлечением лучших специалистов с кафедр как нутриентологической направленности, так и экономического и ИТ-направлений.

Для формирования более четких технических требований необходимо будет провести анкетирование среди реальных владельцев предприятий сектора HoReCa и посетителей данных предприятий.

Заключение

Применение современных НИТ-технологий может придать толчок развитию ресторанного и гостиничного бизнеса, поэтому выбор оптимального сочетания прогрессивных цифровых решений и научного подхода к индустрии здорового питания является актуальной задачей. Результаты проведенных исследований и опросов свидетельствуют о перспективности данного направления и обосновывают целесообразность их внедрения в предприятия общественного питания. Данные полученной статистики могут склонить рестораторов к использованию электронных меню с элементами VR и AR в своих заведениях, что послужит развитию и распространению данных технологий.

В дальнейшем нам видятся следующие направления работы:

- составление технико-экономического обоснования проекта¹¹ и его коммерциализация для использования в секторе HoReCa;¹²
- разработка оригинальных рецептов из области функционального питания и предложение их сегменту HoReCa с добавлением изображений в базу приложения;¹³
- применение технологии акцентной визуализации к VR-изображениям (Ивашенко, Катиркин, Ситников & Сурнин, 2018; Galantucci, Pesce & Lavecchia, 2015);
- добавление модуля по рекомендации функционального питания по потребностям клиентов (Ueda & Nakajima, 2015);

Цифровые технологии продолжают активно развиваться, и поэтому данная тема имеет большой ресурс для дальнейшего совершенствования

в плане улучшения визуальной и интерактивной составляющей.

Благодарности

Авторский коллектив выражает особую благодарность Цыпину А. П. - за сотрудничество, ценные советы и консультации в экономических вопросах; Нехорошкову С. В. - за фото и видеосъемку; учебному центру РЕСТОРАН-БАР МГУПП – за предоставленное помещение и оборудование, а также всем преподавателям, сотрудникам и студентам МГУПП за участие в опросе и проявленный интерес к проекту и исследованию.

Литература

- Борзова, Л. О. (2011). Значение эстетической подготовки работников общественного питания: физиологический аспект. *Вестник Челябинского государственного педагогического университета*, 10, 21-30.
- Головин, С. Ю. (2019). Анализ рынка дополненной и виртуальной реальности в современной России. *Бизнес-образование в экономике знаний*, 3, 26-29.
- Долматова, И. А., & Латыпова, С. Ш. (2015). Инновационные технологии в организации питания и обслуживания посетителей в ресторане. В *Материалы X Международной научно-практической конференции* (50-53). Наука.
- Ерлыгина, Е. Г., & Яманов, А. А. (2020). Роль digital-маркетинга в системе рыночных отношений. *Бюллетень науки и практики*, 1, 248-252. <https://doi.org/10.33619/10.33619/2414-2948/50>.
- Ивашенко, А. В., Катиркин, Г. В., Ситников, П. В., Сурнин О. Л. (2018). Акцентная визуализация в интерфейсах дополненной реальности. *Программные продукты и системы*, 4, 740-744. <https://doi.org/10.15827/0236-235X.031.4.740-744>
- Нестик, Т. А. (2017). Развитие цифровых технологий и будущее психологии. *Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Психологические науки*, 3, 6-15. <https://doi.org/10.18384/2310-7235-2017-3-6-15>
- Родичева, И. С., & Суханова, Н. П. (2019). Виртуальная реальность: Осмысление перспектив. *Проблемы современного образования*, 5, 9-17.
- Смыкова, М. Р., & Рахимбековаб Ж. С. (2019). Перспективы развития ресторанного маркетинга Казахстана. *Научный результат, Технологии*

¹¹ Аничин, В. Л. (2013). Управление проектами. БелГПУ им.В.Я.Горина.

¹² Фридман, А. М. (2017). Экономика предприятий торговли и питания потребительского общества: учебник. Дашков и К.

¹³ Молчанова, Е. Н. (2014). Физиология питания. Учебное пособие для вузов. Троицкий мост.

- бизнеса и сервиса, 5(2), 60-68. <https://doi.org/10.18413/2408-9338-2019-5-2-0-6>
- Цветков, В. Я. (2017). Дополненная реальность. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*, 6(2), 211-212.
- Цой, И. А., Куткина, М. Н. (2018). Цифровые технологии в ресторанном бизнесе. *Студенческий научный журнал*, 9 (29), 75-78.
- Ahn, J., Williamson, J., Gartrell, M., Han, R., Lv, Q., & Mishra, S. (2015). Supporting healthy grocery shopping via mobile augmented reality. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications*, 12(1s), 1-24. <https://doi.org/10.1145/2808207>
- Bundasak, S., & Chinnasarn, K. (2013). eMenu recommender system using collaborative filtering and slope one predictor. *The 10th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering* (pp. 37-42). JCSSE. <https://doi.org/10.1109/jcsse.2013.6567316>
- Charles, M., Woods, A. T., Neuhäuser, M., Landgraf, A., & Spence, C. (2015). Rotating plates: Online study demonstrates the importance of orientation in the plating of food. *Food Quality and Preference*, 44, 194-202. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2015.04.015>
- Condrasky, M., Ledikwe, J. H., Flood, J. E., & Rolls, B. J. (2007). Chefs' opinions of restaurant portion sizes. *Obesity*, 15(8), 2086-2094. <https://doi.org/10.1038/oby.2007.248>
- Galantucci, L. M., Pesce, M., & Lavecchia, F. (2015). A stereo photogrammetry scanning methodology, for precise and accurate 3D digitization of small parts with sub-millimeter sized features. *CIRP Annals*, 64(1), 507-510. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2015.04.016>
- Martell, N. (2016) Goodbye paper menus? Restaurants test the water for tablets, the salt what's on your plate (Unpublished master thesis). College of Imaging Arts & Sciences.
- Nicas, J., & Zakrzewski, C. (2016). Augmented reality gets boost from success of pokémon go, Wall Street Journal. <https://www.wsj.com/articles/augmented-reality-gets-boost-from-success-of-pokemon-go-1468402203>.
- Oliva-Felipe, Luis, et al. (2018). Health recommender system design in the context of CAREGIVERSPRO-MMD Project. *Proceedings of the 11th Pervasive Technologies Related to Assistive Environments Conference*. ACM. <https://doi.org/10.1145/3197768.3201558>
- Tsvetkov, V. Ya. (2016). Virtual modeling. *European Journal of Technology and Design*, 11(1), 35-44. <https://doi.org/10.13187/ejtd.2016.11.35>
- Ueda, M., & Nakajima, S. (2014). Cooking recipe recommendation method focusing on the relationship between user preference and ingredient quantity. In G.C. Yang, S.I. Ao, X. Huang, O. Castillo (Eds.), *Transactions on engineering technologies* (pp. 385-395). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9588-3_29
- Van Krevelen, D. W. F., & Poelman, R. (2010). A survey of augmented reality technologies, applications and limitations. *International Journal of Virtual Reality*, 9(2), 1-20.
- Zampollo, F., Wansink, B., Kniffin, K. M., Shimizu, M., & Omori, A. (2011). Looks good enough to eat. *Cross-Cultural Research*, 46(1), 31-49. <https://doi.org/10.1177/1069397111418428>

Healthy Food Industry Development using Progressive Information Technologies & Solutions

Yulia N. Belova, Alexey S. Maximov, Atryom A. Noshin, Oleg A. Suvorov, Alexander E. Yablokov, Alexey O. Yakushev

Moscow State University of Food Production

Correspondence concerning this article should be addressed to Yulia N. Belova, Moscow State University of Food Production, 11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation. E-mail: belovayn@mgupp.ru

In today's competitive environment, catering enterprises, including restaurants, have to develop and use various technologies to attract customers. Marketing methods play a significant role there; however, regular advertising in the media is no longer enough. To maintain competitiveness, restaurants should search and develop original and modern ways and approaches to doing business. The latest is already impossible without the use of new information technologies. In this article, our team of authors of Moscow State University of Food Production offers an innovative approach to the development of the healthy nutrition industry, based on a combination of various factors used to affect customers.

The purpose of the scientific research is to study the possibilities of increasing the efficiency of public catering enterprises, including cafes and restaurants, by using the latest trends in this area. The research was conducted in the conditions of the culinary art laboratory "Kitchen Studio" of MSUFP with testing in the MSUFP Training Center RESTAURANT-BAR together with the laboratories of the department "Computer Science and Computer Engineering of Food Production". After analyzing the global trends in food digitalization, animation solutions and interfaces for them were selected and developed to increase the efficiency of restaurants and promote a healthy lifestyle; in particular, an electronic menu alpha-version in augmented reality (AR) was designed. The results obtained during the study suggest that our project of a healthy food restaurant with elements of virtual and augmented reality will be in demand by public catering organizations and will be attractive for their visitors.

Keywords: restaurant, augmented reality, AR, VR, interactive, health food industry, mobile applications, electronic menu

Acknowledgments

The team of authors expresses special thanks to Tsylin A. P. - for cooperation, valuable advices and consulting in economic matters; Nekhoroshkov S.V. - for photo and video shooting; to the RESTAURANT-BAR training center of MGUPP - for the provided premises and equipment, as well as to all teachers, staff and students of MSUFP for participating in the survey and showing interest in the project and research.

References

- Borzova, L. O. (2011). The value of the aesthetic preparation of catering workers: physiological aspect. *Bulletin of the Chelyabinsk State Pedagogical University*, 10, 21-30.
- Golovin, S. Yu. (2019). Market analysis of augmented and virtual reality in modern Russia. *Business Education in the Knowledge Economy*, 3, 26-29.
- Dolmatova, I. A., & Latypova S. Sh. (2015). Innovative technologies in catering and customer service in a restaurant. In *Materials of the X International scientific and practical conference* (50-53). Nauka.
- Erlygina, E. G., & Yamanov A. A. (2020). The role of digital marketing in the system of market relations. *Bulletin of science and practice*, 1, 248-252. <https://doi.org/10.33619/10.33619/2414-2948/50>
- Ivashchenko, A. V., Katirkin, G. V., Sitnikov, P. V., Surnin O. L. (2018) Accent visualization in augmented reality interfaces. *Software Products and Systems*, 4, 740-744. <https://doi.org/10.15827/0236-235X.031.4.740-744>
- Nestik, T. A. (2017). The development of digital technologies and the future of psychology. *Bulletin of Moscow State Regional University. Series: Psychological Sciences*, 3, 6-15. <https://doi.org/10.18384/2310-7235-2017-3-6-15>
- Rodicheva, I. S., & Sukhanova, N. P. (2019). Virtual reality: comprehension of perspectives. *Problems of modern education*, 5, 9-17.

- Smykova, M. R., & Rakhimbekova J. S. (2019). Prospects for the development of restaurant marketing in Kazakhstan. *Scientific Result. Business and Service Technologies*, 5-2, 60-68. <https://doi.org/10.18413/2408-9338-2019-5-2-0-6>
- Tsvetkov, V. Ya. (2017). Augmented Reality. *International Journal of Applied and Fundamental Research*, 6-2, 211-212.
- Tsoi, I. A., & Kutkina M. N. (2018). Digital technologies in the restaurant business. *Student Scientific Journal*, 9 (29), 75-78.
- Ahn, J., Williamson, J., Gartrell, M., Han, R., Lv, Q., & Mishra, S. (2015). Supporting healthy grocery shopping via mobile augmented reality. *ACM Transactions on Multimedia Computing, Communications, and Applications*, 12(1s), 1-24. <https://doi.org/10.1145/2808207>
- Bundasak, S., & Chinnasarn, K. (2013). eMenu recommender system using collaborative filtering and slope one predictor. *The 10th International Joint Conference on Computer Science and Software Engineering* (pp. 37-42). JCSSE. <https://doi.org/10.1109/jcsse.2013.6567316>
- Charles, M., Woods, A. T., Neuhäuser, M., Landgraf, A., & Spence, C. (2015). Rotating plates: Online study demonstrates the importance of orientation in the plating of food. *Food Quality and Preference*, 44, 194-202. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2015.04.015>
- Condrasky, M., Ledikwe, J. H., Flood, J. E., & Rolls, B. J. (2007). Chefs' opinions of restaurant portion sizes. *Obesity*, 15(8), 2086-2094. <https://doi.org/10.1038/oby.2007.248>
- Galantucci, L. M., Pesce, M., & Lavecchia, F. (2015). A stereo photogrammetry scanning methodology, for precise and accurate 3D digitization of small parts with sub-millimeter sized features. *CIRP Annals*, 64(1), 507-510. <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2015.04.016>
- Martell, N. (2016) Goodbye paper menus? Restaurants test the water for tablets, the salt what's on your plate (Unpublished master thesis). College of Imaging Arts & Sciences.
- Nicas, J., & Zakrzewski, C. (2016). Augmented reality gets boost from success of pokémon go, *Wall Street Journal*. <https://www.wsj.com/articles/augmented-reality-gets-boost-from-success-of-pokemon-go-1468402203>.
- Oliva-Felipe, Luis, et al. (2018). Health recommender system design in the context of CAREGIVERSPRO-MMD Project. *Proceedings of the 11th Pervasive Technologies Related to Assistive Environments Conference*. ACM. <https://doi.org/10.1145/3197768.3201558>
- Tsvetkov, V. Ya. (2016). Virtual modeling. *European Journal of Technology and Design*, 11(1), 35-44. <https://doi.org/10.13187/ejtd.2016.11.35>
- Ueda, M., & Nakajima, S. (2014). Cooking recipe recommendation method focusing on the relationship between user preference and ingredient quantity. In G.C. Yang, S.I. Ao, X. Huang, O. Castillo (Eds.), *Transactions on engineering technologies* (pp. 385-395). Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9588-3_29
- Van Krevelen, D. W. F., & Poelman, R. (2010). A survey of augmented reality technologies, applications and limitations. *International Journal of Virtual Reality*, 9(2), 1-20.
- Zampollo, F., Wansink, B., Kniffin, K. M., Shimizu, M., & Omori, A. (2011). Looks good enough to eat. *Cross-Cultural Research*, 46(1), 31-49. <https://doi.org/10.1177/1069397111418428>

Преимущества применения нейротехнологий в пищевой промышленности

Букреев Никита Сергеевич¹, Парамонов Григорий Викторович^{1,2},
Сумерин Вячеслав Андреевич², Шанк Михаил Андреевич³

¹ ООО «СЕНСОРИЛАБ»

² ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

³ Университет МГУ-ППИ в Шэньчжэне

Корреспонденция, касающаяся этой статьи, должна быть адресована Букрееву Н.С., ООО «СЕНСОРИЛАБ», адрес: 121205, город Москва, тер. Сколково инновационного центра, Большой бульвар, дом 42, стр. 1, пом № 1474, рм № 6. E-mail: fox@sensorylab.ru

Дается краткий перечень определений нейромаркетинга и прослеживаются ключевые изменения в определении. Проведен детальный разбор показателей роста интереса к нейромаркетинговым технологиям, как индикаторам потенциальных преимуществ в разрезе роста публикационной активности, роста интереса в использовании нейромаркетинговых технологий в бизнесе, а также увеличивающейся популярности направления. Приведен обзор работ, посвященных библиографическому анализу, мета-анализу работ в области нейромаркетинга как ключевого показателя роста востребованности направления. Рассматриваются основные «хайлайты» публикационной активности, а также динамическое увеличение роста публикаций по данным Google Scholar. Показаны в динамике осведомленность и отношение обывателей и бизнеса к нейротехнологиям и нейромаркетингу, а также их готовность к применению данных технологий. Освещается процесс роста интереса к нейромаркетингу со стороны бизнес-сообществ. Раскрыта основная сила консолидации нейромаркетинговых преимуществ. Показана аргументация исследовательского сообщества в пользу применения нейромаркетинговых техник. Перечислены основные стратегии работы компаний по выводу успешного «нового» продукта на рынок со статистическими данными. Перечислены основные преимущества технологий, потенциально увеличивающие шансы на успех нового продукта. Говорится о нейротехнологиях как об инструменте получения ценной маркетинговой информации в пищевой отрасли: от этапа разработки до этапа внедрения продукта. Перечислены основные области применения нейромаркетинговых технологий в бизнесе. Показаны особенности применения нейротехнологий в пищевой отрасли. Обозначены некоторые исследования в области сенсорного маркетинга, которые свидетельствуют о наличии косвенного влияния сенсорных стимулов на восприятие продукта. Обозначены основные ключевые преимущества нейромаркетинговых технологий, согласующиеся с последними достижениями нейромаркетинга, а также те преимущества, которые носят дискуссионный характер. Выделенные преимущества относятся как к технологии сбора данных, так и к процессу ее обработки, которая в том числе включает и потенциал технологии в массовом применении.

Ключевые слова: нейротехнологии, жизненный цикл продукции (ЖЦП), сенсорный анализ, сенсорный нейромаркетинг, пищевая промышленность

Введение

В последнее десятилетие нейромаркетинг приобрел устойчивый интерес со стороны обывателей, бизнес-сообщества и ученых. Об этом свидетельствуют общее кратное увеличение количества теоретических и прикладных научных статей, мировой рост популярности интернет-запросов, высокая информированность обывателей о том, что подразумевается под термином «нейромарке-

тинг», а также повышение спроса на нейромаркетинговые услуги в бизнес-среде.

Свою историю популярности нейромаркетинг берет в знаменитом случае противостояния двух промышленных пищевых гигантов – Coca-cola® и Pepsi®. Хрестоматийный пример того, как работает нейромаркетинг представила группа американских ученых, исследовавшая и продемонстрировавшая различия в активности мозга участников во время слепого тестирования, а также участни-

ков, осведомленных о брендовой принадлежности напитков. Авторы данного исследования показали силу доминирования бренда над вкусовыми предпочтениями и попытались объяснить реакции участников активацией конкретных зон мозга, оказывающих влияние на принятие решения в пользу той или иной альтернативы (McClure et al., 2004). Публикация данного исследования привела к экспоненциальному росту интереса к теме нейромаркетинга и до сих пор остается показательным примером (Plassmann et al., 2012), за которым последовали публикации новых статей по направлению исследований с раскрытием потенциала приложения нейротехнологий относительно традиционных методов маркетинговых исследований (Plassmann et al., 2008), завоевывая популярность как в академических кругах, так и в деловой практике (Van Doorn & Miloyan, 2018).

Другим значимым событием, которое способствовало признанию бизнес-сообществом нейромаркетинга как реально действующего инструмента, было инвестирование в компанию NeuroFocus компанией Nielsen¹ в мае 2008 года, а позже и ее приобретение, которое состоялось в мае 2011 года. На сегодняшний день многие крупные компании организуют свои собственные нейромаркетинговые лаборатории, тем самым расширяя возможности для масштабирования вновь создаваемых нейротехнологических решений.

Понятие «нейромаркетинг»

Существует множество определений нейромаркетинга. Начиная с 2004 года акценты в определении того, что есть «нейромаркетинг» сместились в пользу операциональности, расширив понятие с простых «применяемых методов из нейронаук» до полноценного «коммерческого инструмента», использующего последние достижения поведенческой экономики и нейронауки. Вот лишь некоторые определения термина, изложенные в хронологической последовательности:

1. Нейромаркетинг, как область исследования, может быть просто определена как применение нейронаучных методов для анализа и понимания человеческого поведения по отношению к рынкам и изменениям рынка (Lee et al., 2007).
2. Область нейроэкономики, которая исследует значимые проблемы маркетинга, называется «нейромаркетинг» или «потребительская нейронаука». Понятие «нейромаркетинг» непрактично многозначительно, поэтому термин

«потребительская нейронаука» является более подходящим названием для новой области исследований, которая использует нейронаучные методы и результаты для лучшего понимания (нейро-)физиологических основ потребительского поведения (Hubert, 2010).

3. Нейромаркетинг является относительно новой формой маркетинговых и потребительских исследований, которая применяет нейронауку в маркетинге, используя технологии нейровизуализации или технологии исследования мозга для прогнозирования реакции потребителей, например, на продукты, упаковку или рекламу (Schneider & Woolgar, 2012).
4. Потребительская нейронаука является новой междисциплинарной областью, которая сочетает в себе психологию, нейронауку и экономику для изучения психофизиологических аффектов мозга на рекламу и маркетинговые стратегии (Khushaba et al., 2013).
5. Нейромаркетинг является междисциплинарной областью науки, которая использует различные инструменты нейро- и биологической обратной связи, а также инструменты измерения метаболических процессов, традиционно используемые в медицине, психиатрии и психологии, в сочетании с традиционными маркетинговыми инструментами поиска лучшего понимания самых разнообразных сознательных и бессознательных типов эмоциональных, когнитивных и физиологических реакций, поведения и мыслей экономических агентов, связанных с типичными вопросами маркетинга и его областей (Caldeira de Oliveira & Giraldi, 2017).

За последнее десятилетие термин «нейромаркетинг» претерпел значительные изменения в содержании, оставаясь при этом неизменным по форме в трех элементах: коммерческая цель применения, нейронаучный инструментарий; потребитель как объект исследования. По содержанию произошли некоторые изменения: во-первых, нейромаркетинг перестал быть только экспериментальным инструментом науки в бизнесе, постепенно производя консолидацию с бизнес-сообществом и оптимизируя работу под запросы клиента (Gang, 2012). Во-вторых, попав под управляющую зависимость поведенческой нейронауки, где консолидирована основная научная база подобных исследований, нейромаркетинг обрел дополнительные теоретические, методологические и методические возможности. Тем не менее, до сегодняшнего дня ведутся дискуссии о принадлежности нейромар-

¹ (Nielsen acquires NeuroFocus. Available at: <https://www.nielsen.com/us/en/press-releases/2011/nielsen-acquires-neurofocus/>)

кетинга то ли к маркетингу, то ли к поведенческой нейронауке (Nilashi et al., 2020). В-третьих, нейромаркетинг, за счет связи с наукой и бизнесом, значительно углубил понимание поведения потребителя и расширил список маркетинговых стимулов: отношение человека к ситуации на рынке, маркетинговой стратегии и среде, отдельным брендам, продуктам, вкусам и прочим маркетинговым стимулам.

Мы придерживаемся следующей трактовки термина, согласно Tiwari S.: «Нейромаркетинг – это коммерческий / корпоративный / управленческий инструмент, использующий психологические модели сенсомоторных, когнитивных и аффективных реакций человека для исследования маркетинговых стимулов клиента» (Tiwari, 2020).

Публикационная активность

По данным, полученным с помощью поисковой системы Google Scholar (GS), в период с 1987 года по 2019 года в системе зарегистрировано более 16400 публикаций с наличием слова “neuromarketing” в заголовке статьи. Нужно учитывать, что несмотря на более совершенные поисковые механизмы, GS обладает недостатками, такими как выдача дублирующихся статей, публикаций блогов и журнальных статей. Тем не менее существуют достаточные основания для доверия к GS (Harzing & Alakangas, 2016). По состоянию на 2016 год, как свидетельствует база данных World of Science, с 1987 года зарегистрированы 351 статья с упоминанием ключевых слов о связи маркетинга и некоторых инструментов нейронауки (EEG, fMRI, Eye tracking) (Yağcı et al., 2017). В этом процессе были задействованы 56 стран мира, при этом наибольшая публикационная активность наблюдалась в США (126 статей), Германии (27), Нидерландах (26) и Англии (25), а в шестерке наиболее часто повторяемых ключевых слов были “Eye tracking”

Рисунок 1

Наиболее часто повторяемые ключевые слова (Girişken, 2015)



(129), “Neuromarketing” (62), “Attention” (51), “Neuroscience” (27), “EEG” (23), и “fMRI” (22). Также в таблице 1 можно увидеть рост цитируемости отдельных статей по состоянию на 2017 и 2020 годы соответственно. За три года количество цитирований, избранных для анализа публикаций, увеличилось более чем в 5 раз (из анализируемых статей).

По другим данным известно, что с 2005 по 2011 годы количество статей по теме «нейромаркетинг» составило 71, а с 2011 по 2017 годы их количество увеличилось на более чем 240 статей (Shahriari et al., 2019). Основными «хайлайтами» публикационной активности данного исследования стали «маркетинговые стратегии» – 32%, «реклама и видеореклама» – 25%, «вопросы этики» – 9%, «компоненты рекламных посланий» – 6%, «нейронаука в маркетинге, экономике и поведении потребителей» – 17% и «процесс принятия решений и выбор бренда» – 10%. Эти данные позволяют определить вектор интересов в развитии нейромаркетинга как научно-исследовательского направления.

Учитывая тот факт, что с 2015 года публикуется порядка 70 статей в год, мы можем предположить, что на сегодняшний день общее количество научных публикаций по теме нейромаркетинга превышает 500 статей. Для GS это более 1500 материалов со словом “neuromarketing” в заголовке и около 20000 материалов с упоминанием этого слова по тексту. Более детально можно ознакомиться с ростом числа публикаций на диаграмме 1

Поисковая онлайн-активность

Данная тенденция является общемировой и прослеживается при обращении к анализу популярности запросов “neuromarketing” в поисковой системе Google. По данным профессоров Убера и Кеннинга, за 2008 год было совершено более

Диаграмма 1

Динамика роста числа публикаций, относящихся к нейромаркетинговому направлению, в период с 2000 по 2019 годы



800000 запросов по ключевому слову «нейромаркетинг» (Hubert & Kenning, 2008). По данным итальянских коллег, в 2012 году наблюдается 1,4 миллиона запросов, а в 2018 году их общее количество составляет более чем 3 млн запросов (Cherubino et al., 2019). В соответствии с ростом популярности запросов, мы провели уточняющие расчеты на основании данных 2008 года и обнаружили, что в 2012 году общее количество запросов достигло отметки более 1,7 млн запросов, а в 2016 году достигло пикового значения – до 2 млн запросов в год.

В среднем по всему миру на каждый месяц приходится около 300000 запросов, причем наиболее «востребованными» месяцами у пользователей являются март, октябрь и ноябрь, тогда как наименее популярными месяцами для нейромаркетинга являются июль, январь и декабрь (диаграммы 2 и 3).

Общественная осведомленность

Еще одним свидетельством присутствия интереса к нейромаркетингу является общественное мнение обывателей. В исследовании соотечественников было выявлено, что больше половины опрошенных респондентов (69,2%), напрямую не относящихся к области нейромаркетинга, уже знакомы с терминами «нейромаркетинг» и «нейротехнологии». Также большинство респондентов воспринимают нейромаркетинг как естественную коммерческую практику (Molchanov et al., 2019). Это свидетельствует о том, что общество достаточно проинформировано о том, что такие технологии существуют и применяются, в том числе в коммерческих целях.

В Румынии результаты аналогичного опроса выглядят прямо противоположным образом. В он-

лайн-интервью 2019 года на выборке из 385 пользователей социальных сетей обнаружился низкий уровень знакомства с понятием «нейромаркетинга», тогда как опрос 150 организаций показал более обнадеживающий результат. Компании поделились на три группы:

1. те, кто ничего не знает про нейромаркетинг;
2. те, кто, считает себя знакомыми с этим понятием;
3. те, кто знает слишком много о нейромаркетинге.

Нужно отметить, что при этом 60,2% онлайн-участников проявили готовность к участию в онлайн нейромаркетинговых исследованиях, а 73,2% компаний румынского рынка в будущем намерены применять нейротехнологии в исследовательских целях (Constantinescu et al., 2019). Также участники исследования оценивали степень полезности каждой из применяемых технологий в нейромаркетинговых исследованиях. Результаты приведены в таблице 1.

Рынок нейромаркетинга

Первое официальное нейромаркетинговое исследование двух «нашумевших» напитков привело к появлению споров об этической подоплеке нейромаркетинга в СМИ, научных, бизнес и иных кругах (Singer, 2004). Несмотря на это нейромаркетинг не остановился в развитии. В нейромаркетинге существуют и антипримеры популярности. Разгорающиеся и гаснущие споры об этичности использования нейротехнологий привели к тому, что правительство Франции приняло решение заведомо осадить использование нейротехнологий, в том числе и нейромаркетинг, который попал под запрет на законодательном уровне с формулировкой: «Методы визуализации мозга могут использоваться только в медицинских или научных

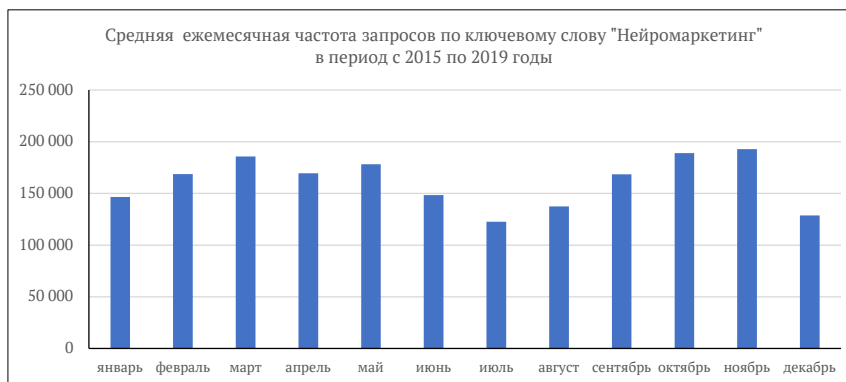
Диаграмма 2

Количество запросов по ключевому слову "Neuromarketing" по данным Google в период с 2004 по 2019 годы



Диаграмма 3

Средняя ежемесячная частота запросов по ключевому слову «Нейромаркетинг» в период с 2015 по 2019 годы



целях или в контексте судебной экспертизы», – согласно закону, принятому в 2011 году.

С момента зарождения направления и до сегодняшнего дня наблюдается обширный рост интереса к практическому применению достижений нейронаук и технологий. Бизнес-сообщество рассматривает нейромаркетинговые технологии как один из лучших предсказателей поведения потребителей (Sebastian, 2014). На развивающемся рынке новые технологии, такие как нейромаркетинг, помогают организациям сохранить, развить и получить конкурентные преимущества².

Способствуют внедрению усилия «Ассоциации науки и бизнеса в области нейромаркетинга», созданной в 2012 году. На сегодняшний день в нее входят 42 страны с преобладающим количеством участников стран Европы (54), Центральной и Южной Америки (27). Все нейромаркетинговые компании можно разделить на три большие группы:

1. компании, проводящие исследования для брендов;

2. компании, разрабатывающие технологии для самостоятельного проведения исследований брендами;

3. компании смешанного типа.

По данным Infinium, мировой рынок решений для нейромаркетинга в 2017 году оценивался почти в 1033 миллиона долларов США и, как ожидается, к 2024 году достигнет более 2000 миллионов долларов США при CAGR в 9,1% в течение прогнозного периода с 2018 по 2024 годы. При этом ожидается рост количества исследований с использованием малогабаритных технологий и методов, основанных на машинном обучении, в том числе в онлайн-среде.

Многие из разработанных в нейронауке решений внедряются в маркетинговую практику. Вот некоторый перечень компаний, которые применяют нейромаркетинг в своем деле: BBC, Coca-Cola, McDonalds, Ford, Heinz, Intel и L'Oreal, P&G, Hyundai, Microsoft, Yahoo, Google, Ebay, Campbell's, Estée Lauder, Fox News, Delta, Procter & Gamble, Carlsberg Beer, ESPN (Burgos-Campero & Vargas-

² Ionescu, A. M., Romanelli, M. (2019). Rediscovering Neuromarketing for Sustainable Companies. *STRATEGICA*, 251.

Таблица 1

Оценка полезности исследования различных нейротехнологий для применения бизнесом и индивидуальными пользователями

	Компании	Пользователи
Eye tracking	4,02	3,93
Face coding	4,02	3,76
Voice recognition	3,42	3,39
EEG	3,46	3,21

Примечание: Оценка полезности использования различных нейротехнологий с точки зрения применения бизнесом и индивидуальными пользователями, где 1 – совершенно бесполезно; 5 – очень полезно.

Адаптировано из Sustainability, Constantinescu et al., 2019, Attitude evaluation on using the neuromarketing approach in social media: Matching company's purposes and consumer's benefits for sustainable business growth, 11(24), 7094 (<https://doi.org/10.3390/su11247094>)

Hernández, 2013; Plassmann et al., 2015; Kumar & Singh, 2015).

Польза нейромаркетинга

Нейромаркетинг является полезным инструментом для получения более точной информации с целью создания конкурентных стратегий и преимуществ, ведущих к улучшению позиционирования на рынке (Burgos-Campero & Hernandez, 2013). Он расширяет арсенал маркетолога за пределы классических и качественных методов, предлагая дополнительную объективную информацию, основанную на анализе неосознаваемых реакций на стимулы (Constantinescu et al., 2019), чем способствует более глубокому пониманию поведения потребителей и уточнению существующих маркетинговых теорий (Nilashi et al., 2020). Внедрение нейромаркетинговых методов будет способствовать лучшему пониманию потребительского поведения, поддерживая и дополняя традиционные методы маркетинговых исследований (Hedgcock & Rao, 2009; Kenning et al., 2011; Lee et al., 2007; Plassmann et al., 2008, 2015). Особенно подчеркиваем, что большинство нейронаучных методов уже применялось и ранее (Ambler et al., 2000; Ariely & Berns, 2010; Hubert & Kenning, 2008; Knutson et al., 2007; Kroeber-Riel, 1979), но даже несмотря на широкое распространение таких нейротехнологических решений, в пищевой отрасли внедрение нейротехнологий еще предстоит произвести (Tiwari, 2020).

Наиболее важными сферами для любого пищевого продукта являются доступные области применения нейромаркетинга в цикле производства и внедрения пищевого продукта: создание продукта, его упаковка, онлайн/офлайн продвижение, онлайн/офлайн коммерция. Выделяется ряд областей, где уже применяются нейромаркетинговые технологий, зарекомендовавшие себя как инструмент работы: телевизионная реклама и объявление

о государственной службе (PSA), выбор продуктов, упаковка, сервис, стоимость, бренд, UX в использовании интернета и мобильных приложений, розница, нейрополитика, нейровкус, нейроэстетика (Cherubino et al., 2019). Нейромаркетинг уже достиг значительных результатов, несмотря на длительное становление (Berns & Moore, 2012; Boksem & Smidts, 2015; Falk et al., 2016; Kühn et al., 2016; Telpaz et al., 2015; Venkatraman et al., 2015).

При этом, статистика показывает, что в районе 70-95% новых продуктов уходят с рынка после запуска (Spence, 2020). Отмечается, что подобные прогнозы могут сказываться на активности компаний по внедрению новых продуктов на рынок, тем самым замедляя их рост и приводя их деятельность в плачевное состояние (Salnikova et al., 2019).

(Salnikova et al., 2019) выделяют следующие стратегии работы компаний со своими продуктами (2810 продуктовых единиц из базы Mintel Global New Product Database (GNPD)), успешность которых оценивались в период с 2010 по 2012 годы:

- новый продукт, в том числе в новой категории: (41% от общего числа продуктов; 59% успеха);
- расширение линейки: определяется как расширение линии или марки (35% от общего числа продуктов; 58% успеха);
- новая упаковка (21% от общего числа продуктов; 50% успеха);
- новая формула: новый вкус и прочее (2% от общего числа продуктов; 74% успеха);
- перезапуск: на основе информации из вторичных источников (например, выставки-ярмарки, PR, веб-сайты и пресса) (1% от общего числа продуктов; 75% успеха).

«Успех» в данном исследовании засчитывался, если продукт на настоящий момент сохранился в продажах и был опубликован на сайте компании. Таким образом, продукты, остающиеся в продаже,

были успешными. Авторами данного исследования отмечается, что даже успех в 50% не гарантирует принесение прибыли для выхода на окупаемость произведенных затрат. На сегодняшний день глобальных исследований, подтверждающих эффективность нейромаркетинга, не существует, но тем не менее ожидается, что комплексное использование нейромаркетинговых технологий позволит увеличить процент успешности товара.

Особенность исследований в пищевом секторе экономики заключается в том, что при опробовании еды проблематично использование «габаритных» технологий, таких как ПЭТ (позитронно-эмиссионная томография) и МРТ (магнитно-резонансная томография) (Stasi et al., 2018). Другой особенностью является наличие влияния стимулов, не связанных напрямую с продуктом, таких как яркость (Milosavljevic et al., 2011), цвет и форма упаковки (Itti & Koch, C., 2001; Mannan et al., 2009), а также цена (Oliver, 1999; Yang & Peterson, 2004; Cheng et al., 2008). К тому же, существует действие косвенных стимулов, влияющих на процесс принятия решений, в частности исследуемые в области сенсорного маркетинга, например, наличие ароматов (Proserpio et al., 2019; Gaillet et al., 2013; Gaillet-Torrent et al., 2014; Leenders et al., 2019), музыки (Gkaintatzis et al., 2019; Kemp et al., 2019; Egermann, 2019), цветового сопровождения (Horska et al., 2016; Ozkul et al., 2019; Huang & Wan, 2019), в том числе и кросс-модальных исследований. Подобные исследования невозможно проводить в условиях, где участников исследования закрывают в очень узком и тесном пространстве и просят не двигаться (например, в ПЭТ и МРТ).

Использование нейронаучного подхода «обещает создавать условия для концептуальных разработок, предлагая эволюционно новые представления» (Plassmann et al., 2015). Конечно, важно понимать, что нейромаркетинг – это не идеальный инструмент для «вскрытия ящика Пандоры» потребительских предпочтений, но благодаря ему можно попытаться создать «пищу богов» – вкусный и полезный продукт, от которого будут в восторге гурманы со всего мира.

Как подчеркивает Марко Хуберт, использование нейромаркетинга приносит ряд преимуществ в целях коммерческого использования (Hubert et al., 2020). Он выделяет ряд таких преимуществ:

1. Более объективный подход к измерению, основанный на пространственной и (или) временной локализации активности мозга, связанной с потребительским поведением (Ariely & Berns,

2010; Hubert & Kenning, 2008). Напротив, традиционные измерения собирают субъективное восприятие участников без какого-либо прямого измерения бессознательных или автоматических процессов (Camerer et al., 2005; Lieberman, 2007; Shiv & Fedorikhin, 1999; Shiv et al., 2005).

2. Одновременные исследования потребительских решений и связанных с ними нейронных процессов в режиме реального времени. В этом случае участникам не нужно будет реконструировать причины, эмоции или чувства, связанные с их решениями ex post (Hubert & Kenning, 2008; Lee et al., 2007).
3. Исключение риска стратегического поведения, поскольку участники обычно не могут сознательно влиять на деятельность своего мозга. Как следствие, результаты будут менее предвзятыми из-за эффектов социальной желательности (Camerer et al., 2005).
4. Улучшение валидации и адаптации теории. Возможность воспроизведения существующих поведенческих теорий является убедительной; широко обнародованные результаты, такие как гендерные различия, характеризующие восприятие доверия и риска (Riedl et al., 2010), может быть подтверждено или опровергнуто. Идентифицируя активацию вполне конкретных областей мозга, нейронаучные исследования потребителей потенциально могут производить новые результаты, которые приведут к новым теоретическим знаниям и совершенствованию имеющихся теорий. (Hubert, 2010; Plassmann et al., 2015).
5. Совершенствование инструментов маркетинговых исследований. Нейронаучные методы устанавливают лучший компромисс между затратами и полезностью для бизнеса (Ariely & Berns, 2010; Plassmann et al., 2007).

Итальянская группа исследователей под руководством Антонио Штази (2018) выделяет еще ряд областей, где потенциально достижимо преимущество нейромаркетинговых исследований по сравнению с классическими методами:

Продолжительность сбора данных: Быстрый сбор данных позволяет увеличить размер выборки и снизить затраты. Более того, это может положительно сказаться на достоверности данных из-за отсутствия усталости респондентов.

Широта географического охвата: Возможность расширения географии сбора данных по стандартизированным метрикам позволяет собирать более

качественную информацию о потребительском поведении.

Естественные условия сбора нейромаркетинговых данных: Естественность окружающей среды может позволить получить более точную информацию о потребителях в момент покупки продуктов питания. Некоторые из аппаратных и программных методов нейромаркетинга позволяют проводить полевые исследования.

Другие, не менее важные выделенные преимущества, связаны с процессом статистической обработки информации. Их можно причислить, в том числе и к преимуществам нейромаркетингового инструмента для науки в целом: полезность описательной статистики, сегментация результатов исследования для целевых стратегий, прогностический анализ потребительских предпочтений и выбора.

Заключение

Рынок нейромаркетинга обладает всем потенциалом для дальнейшего развития, которое, вероятно, будет иметь последствия, затрагивающие многие сферы жизнедеятельности человека. Мы видим, что зарождение направления нейромаркетинговых исследований имеет абсолютно научные корни, которые в попытке переложить на рельсы маркетинга, еще сильнее укореняются в наукоемкости поведенческой нейронауки. В последний год наблюдается небольшое снижение публикационной активности, что неразрывно связано и с частотой запросов по теме нейромаркетинга. Рост популярности темы, по нашему мнению, связан с ростом публикационной активности научного сообщества и просвещением в области нейротехнологий. Очевидно, что драйвером популярности нейромаркетинга, как в самом начале пути, так и сегодня, остается именно научная составляющая, способная дать коммерческие плоды.

Нейромаркетинговые технологии в пищевой отрасли не применяются на постоянной основе, но мы видим широкие попытки исследовать влияние сенсорных свойств продукта, упаковки, окружающей среды на потребительский выбор. Сочетание различных методов нейротехнологий представляет наибольший интерес для определения преимуществ маркетинговых результатов перед традиционными методами. Тем не менее, традиционные способы исследования остаются до сегодняшнего дня достаточно востребованными и, как ожидается вскоре, эти два подхода будут работать взаимодействуя.

Уже сейчас понятно, что использование нейротехнологических решений позволит прийти к унифицированным стандартам исследований в пищевой отрасли, что неминуемо приведет к яркому взлету использования преимуществ нейромаркетинговых методов и даст почву для создания нового подхода в производстве пищевых продуктов. По нашему мнению, именно нейротехнологические решения позволят создавать цифровой пищевой продукт, обладающий полной информацией о всех возможных сенсорных свойствах продукта, связанных с составом, физико-химическими свойствами продукта, технологиями производства, свойствами восприятия различных целевых аудиторий и особенностями их мозговой активности. В попытке создать модель пищевых продуктов работает наша нейромаркетинговая лаборатория SensoryLAB, где главным элементом методологии является сенсорное восприятие пищевых продуктов различными целевыми аудиториями.

Литература

- Ambler, T., Ioannides, A. & Rose, S. (2000). Brands on the brain: neuro-images of advertising. *Business Strategy Review*, 11(3), 17–30. <https://doi.org/10.1111/1467-8616.00144>
- Ariely, D., & Berns, G. (2010). Neuromarketing: the hope and hype of neuroimaging in business. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(4), 284–292. <https://doi.org/10.1038/nrn2795>
- Ariely, D., & Berns, G.S. (2010). Neuromarketing: The hope and hype of neuroimaging in business. *Nature Reviews Neuroscience*, 11, 284–292. <https://doi.org/10.1038/nrn2795>
- Berns, G. S., & Moore, S. E. (2012). A neural predictor of cultural popularity. *Journal of Consumer Psychology*, 22(1), 154–160. <https://doi.org/10.1016/j.jcps.2011.05.001>
- Boksem, M. A. S., & Smidts, A. (2015). Brain responses to movie trailers predict individual preferences for movies and their population-wide commercial success. *Journal of Marketing Research*, 52(4), 482–492. <https://doi.org/10.1509/jmr.13.0572>
- Burgos-Campero, A. A., & Vargas-Hernandez J.G. (2013). Analytical approach to neuromarketing as a business strategy. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 99, 517–525. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.10.521>
- Camerer, C., Loewenstein, G. & Prelec, D. (2005). Neuroeconomics: How neuroscience can inform economics. *Journal of economic Literature*, 43(1), 9–64. <https://doi.org/10.1257/0022051053737843>
- Cheng, T. C. E., Lai, L. C. F., & Yeung, A. C. L. (2008). The driving forces of customer loyalty: A study of inter-

- net service providers in Hong Kong. *International Journal of E-Business Research*, 4(4), 26–42. <https://doi.org/10.4018/jebr.2008100103>
- Cherubino, P., Martinez-Levy, A. C., Caratù, M., Cartocci, G., Flumeri, G. Di, Modica, E., Rossi, D., Mancini, M., & Trettel, A. (2019). Consumer behaviour through the eyes of Neurophysiological measures: State-of-the-art and future trends. *Computational Intelligence and Neuroscience, Special Issue, 2019*. <https://doi.org/10.1155/2019/1976847>
- Constantinescu, M., Orindaru, A., Pachitanu, A., Rosca, L., Caescu, S.-C., & Orzan, M. C. (2019). Attitude evaluation on using the neuromarketing approach in social media: Matching company's purposes and consumer's benefits for sustainable business growth. *Sustainability*, 11(24), 7094. <https://doi.org/10.3390/su11247094>
- de Oliveira, J. H. C., & de Giralaldi, J. M. E. (2017). What is Neuromarketing? A proposal for a broader and more accurate definition. *Global Business & Management Research*, 9(2), 19–29.
- Egermann, H. (2019). Creating a brand image through music: Understanding the Psychological mechanisms behind audio branding. In M. Grimshaw, M. Walther-Hansen, & M. Knakkegaard (Eds.), *The Oxford Handbook of Sound and Imagination* (vol. 2). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780190460242.013.29>
- Falk, E., O'Donnell, M., Tompson, S., Gonzalez, R., Dal, Cin, S., & Strecher, V. (2016). Functional brain imaging predicts public health. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 11(2), 204–214. <https://doi.org/10.1093/scan/nsv108>
- Gaillet, M., Sulmont-Rossé, C., Issanchou, S., Chabanet S., & Chambaron, S. (2013). Priming effects of an olfactory food cue on subsequent food-related behaviour. *Food Quality and Preference*, 30(2), 274–281. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2013.06.008>
- Gaillet-Torrent, M., Sulmont-Rossé, C., Issanchou, S., Chabanet, C., & Chambaron, S. (2014). Impact of a non-attentively perceived odour on subsequent food choices. *Appetite*, 76, 17–22. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2014.01.009>
- Gang, D.J., Lin, W., Qi, Z., & Yan, L.L. (2012). Neuromarketing: Marketing through Science. In *Service Sciences, International Joint Conference on on Neural Networks* (vol. 1, pp. 285–289). <https://doi.org/10.1109/IJCSS.2012.65>
- Gkaintatzis, A., Lubbe, R., Karantinou, K., & Constantinides, E. (2019). Consumers' cognitive, emotional and behavioral responses towards background music: An EEG study. In *15th International Conference on Web Information Systems and Technologies* (pp. 314–318). SCITEPRESS. <https://doi.org/10.5222/08346603140318>
- Harzing, A.-W., & Alakangas, S. (2016). Google Scholar, Scopus and the Web of Science: A longitudinal and cross-disciplinary comparison. *Scientometrics*, 106, 787–804. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1798-9>
- Hedgcock, W., & Rao A.R. (2009). Trade-off aversion as an explanation for the attraction effect: A functional magnetic resonance imaging study. *Journal of Marketing Research*, 46(1), 1–13. <https://doi.org/10.1509/jmkr.46.1.1>
- Horska, E., Bercik, J., Krasnodebski, A., Matysik-Pejas, R., & Bakayova, H. (2016). Innovative approaches to examining consumer preferences when choosing wines. *Agricultural Economics (Zemědělská Ekonomika)*, 62(3), 124–133. <https://doi.org/10.17221/290/2015-AGRICECON>
- Huang, J., & Wan, X. (2019). The color-flavor incongruency effect in product evaluation and brand perception. *Journal of Consumer Behaviour*, 18(6), 484–495. <https://doi.org/10.1002/cb.1787>
- Hubert, M., & Hubert, M. (2020). Consumer Neuroscience: Recent theoretical and methodological developments for research and practice using a cube model. *Organizational Neuroethics* (pp. 67–86). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-27177-0_6
- Hubert, M., & Kenning, P. (2008) A Current overview of consumer Neuroscience. *Journal of Consumer Behaviour*, 7, 272–292. <http://dx.doi.org/10.1002/cb.251>
- Hubert, M., & Kenning, P. (2008). A current overview of consumer neuroscience. *Neuromarketing*, 7(4-5). <https://doi.org/10.1002/cb.251>
- Hubert, M. (2010). Does neuroeconomics give new impetus to economic and consumer research? *Journal of Economic Psychology*, 31(5), 812–817. <https://doi.org/10.1016/j.joep.2010.03.009>
- Itti, L., & Koch, C. (2001). Computational modelling of visual attention. *Nature reviews neuroscience*, 2(3), 194–203. <https://doi.org/10.1038/35058500>
- Kemp, E. A., Williams, K., Min, D. J., & Chen, H. (2019). Happy feelings: Examining music in the service environment. *International Hospitality Review*, 33(1), 5–15. <https://doi.org/10.1108/IHR-10-2018-0019>
- Kenning, P., & Linzmajer, M. (2011). Consumer neuroscience: An overview of an emerging discipline with implications for consumer policy. *Journal Für Verbraucherschutz Und Lebensmittelsicherheit*, 6(1), 111–125. <https://doi.org/10.1007/s00003-010-0652-5>
- Khushaba, R. N., Wise, C., Kodagoda, S., Louviere, J., Kahn, B. E., & Townsend, C. (2013). Consumer neuroscience: Assessing the brain response to marketing stimuli using electroencephalogram (EEG) and eye tracking. *Expert Systems with Applications*,

- 40(9), 3803-3812. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.12.095>
- Knutson, B., Rick S., Wimmer, G. E., Prelec, D., & Loewenstein, G. (2007). Neural predictors of purchases. *Neuron*, 53(1), 147–156. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2006.11.010>
- Kroeber-Riel, W. (1979). Activation research: Psychobiological approaches in consumer research. *Journal of Consumer Research*, 5(4), 240–250. <https://doi.org/10.1086/208736>
- Kühn, S., Strelow, E., & Gallinat, J. (2016). Multiple “buy buttons” in the brain: Forecasting chocolate sales at point-of-sale based on functional brain activation using fMRI. *NeuroImage*, 136, 122–128. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.05.021>
- Kumar, H., & Singh, P. (2015). Neuromarketing: An Emerging tool of market research. *International Journal of Engineering and Management Research*, 5(6), 530–535.
- Lee, N., Broderick, A. J., & Chamberlain, L. (2007). What is ‘neuromarketing’? A discussion and agenda for future research. *International Journal of Psychophysiology*, 63(2), 199–204. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2006.03.007>
- Leenders, M. A. A. M., Smidts, A., & El Haji, A. (2019). Ambient scent as a mood inducer in supermarkets: The role of scent intensity and time-pressure of shoppers. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 48, 270–280. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2016.05.007>
- Lieberman, M. D. (2007). Social cognitive neuroscience: a review of core processes. *Annual Review of Psychology*, 58, 259–289.
- Mannan, S. K., Kennard, C., & Husain, M. (2009). The role of visual salience in directing eye movements in visual object agnosia. *Current biology*, 19(6), R247–R248. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.02.020>
- McClure, S. M., Li, J., Tomlin, D., Cypert, K. S., Montague, L. M., & Montague, P. R. (2004). Neural Correlates of Behavioral Preference for Culturally Familiar Drinks. *Neuron*, 44(2), 379–387. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2004.09.019>
- Milosavljevic, M., Navalpakkam, V., Koch, C., & Rangel, A. (2012). Relative visual saliency differences induce sizable bias in consumer choice. *Journal of Consumer Psychology*, 22(1), 67–74. <https://doi.org/10.1016/j.jcps.2011.10.002>
- Molchanov, N. N., Muravieva, O. S., & Galai, N. I. (2019). Neurotechnologies: Assessment of development prospects in Russia. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya “Ekonomika i parvo”* [Bulletin of the Udmurt University. Economics and Law Series], 2(29), 142–151.
- Nilashi, M., Samad S., Ahmadi, N., Ahani, A., Abumalloh, R.A., Asadi, S., Abdullah, R., Othman, I., & Yadegaridehkordi, E. (2020). Neuromarketing: A review of research and implications for marketing. *Journal of Soft Computing and Decision Support Systems*, 7(2), 23–31.
- Oliver, R. L. (1999). Whence consumer loyalty? *Journal of marketing*, 63(4), 33–44. <https://doi.org/10.2307/1252099>
- Ozkul, E., Boz, H., Bilgili, B., & Koc, E. (2019). What colour and light do in service atmospherics: A neuro-marketing perspective. In M. Volgger & D. Pfister (Eds.), *Atmospheric turn in culture and tourism: Place, design and process impacts on customer behaviour, marketing and branding* (vol. 16, pp. 223–244). Emerald Publishing Limited. <https://doi.org/10.1108/S1871-317320190000016022>
- Plassmann, H., Kenning, P., Deppe, M., Kugel, H., & Schwindt, W. (2008). How choice ambiguity modulates activity in brain areas representing brand preference: Evidence from consumer neuroscience. *Journal of Consumer Behaviour*, 7(4–5), 360–367. <https://doi.org/10.1002/cb.257>
- Plassmann, H., O’Doherty, J., Shiv, B., & Rangel A. (2008). Marketing actions can modulate neural representations of experienced pleasantness. *PNAS*, 105(3), 1050–1054. <https://doi.org/10.1073/pnas.0706929105>
- Plassmann, H., Ramsøy, T. Z. & Milosavljevic, M. (2012). Branding the brain: A critical review and outlook. *Journal of consumer psychology*, 22(1), 18–36. <https://doi.org/10.1016/j.jcps.2011.11.010>
- Plassmann, H., Venkatraman, V., Huettel, S. & Yoon, C. (2015). Consumer neuroscience: Applications, challenges, and possible solutions. *Journal of Marketing Research*, 52(4), 427–435. <https://doi.org/10.1509/jmr.14.0048>
- Proserpio, C., Invitti, C., Boesveldt, S., Pasqualinotto, L., Laureati, M., Cattaneo, C., & Pagliarini, E. (2019). Ambient odor exposure affects food intake and sensory specific appetite in obese women. *Frontiers in Psychology*, 10, 7. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00007>
- Riedl, R., Banker, R. D., Benbasat, I., Davis, F. D., Dennis, A. R., Dimoka, A., Gefen, D., Gupta, A., Ischebeck, A., Kenning, P., Müller-Putz, G., Pavlou, P. A., Straub, D. W., vom Brocke, J., & Weber, B. (2010). On the foundations of NeuroIS: Reflections on the Gmunden Retreat 2009. *Communications of the Association for Information Systems*, 27, 243–264. <https://doi.org/10.17705/1CAIS.02715>
- Salnikova, E., Baglione, S. L., & Stanton, J. L. (2019). To launch or not to launch: An empirical estimate of new food product success rate. *Journal of Food Products Marketing*, 25(7), 771–784.
- Schneider, T., & Woolgar, S. (2012). Technologies of ironic revelation: Enacting consumers in neuro-

- markets. *Consumption Markets & Culture*, 15(2), 169–189. <https://doi.org/10.1080/10253866.2012.654959>
- Shahriari, M., Feiz, D., Zarei, A., & Kashi, E. (2019). The meta-analysis of neuromarketing studies: Past, present and future. *Neuroethics*, 2019. <https://doi.org/10.1007/s12152-019-09400-z>
- Shiv, B., & Fedorikhin, A. (1999). Heart and mind in conflict: The interplay of affect and cognition in consumer decision making. *Journal of consumer Research*, 26(3), 278–292. <https://doi.org/10.1086/209563>
- Shiv, B., Loewenstein, G., Bechara, A., Damasio, H., & Damasio, A.R. (2005). Investment behavior and the negative side of emotion. *Psychological science*, 16(6), 435–439. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2005.01553.x>
- Singer E. (2004). They know what you want – if neuromarketers can find the key to our consumer desires, will they be able to manipulate what we buy. *New scientist*, 183(2458), 36–37.
- Spence, C. (2020). On the ethics of neuromarketing and sensory marketing. In J. Martineau, E. Racine (Eds.), *Organizational Neuroethics. Advances in Neuroethics* (pp. 9-29). Springer.
- Stasi, A., Songa, G., Mauri, M., Ciceri, A., Diotallevi, F., Nardone, G., & Russo, V. (2018). Neuromarketing empirical approaches and food choice: A systematic review. *Food Research International*, 108, 650–664. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2017.11.049>
- Telpaz, A., Webb, R., & Levy, D.J. (2015). Using EEG to predict consumers' future choices. *Journal of Marketing Research*, 52(4), 511–529. <https://doi.org/10.1509/jmr.13.0564>
- Tiwari, S. (2020). Neuromarketing and Information Technology. *CYBERNOMICS*, 2(1), 21–24. <https://www.cybernomics.in/index.php/cnm/article/view/188>
- Van Doorn, G., & Miloyan, B. (2018). The Pepsi paradox: A review. *Food Quality and Preference*, 65, 194–197. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodqual.2017.11.007>
- Venkatraman, V., Dimoka, A., Pavlou, P.A., Vo, K., Hampton, W., Bollinger, B., Hershfield, H.E., Ishihara, M., & Winer, R.S. (2015). Predicting advertising success beyond traditional measures: New insights from neurophysiological methods and market response modeling. *Journal of Marketing Research*, 52(4), 436–452. <https://doi.org/10.1509/jmr.13.0593>
- Vlăsceanu, S. (2014). Neuromarketing and Neuroethics. *Procedia. Social and Behavioral Sciences*, 127, 763–768. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.03.351>
- Yağcı, M., İ., Kuhzady, S., Balık, Z., & Öztürk, L. (2018). In Search of consumer's black box: A bibliometric analysis of Neuromarketing research. *Tüketici ve Tüketim Araştırmaları Dergisi*, 2018(1), 101–134.
- Yang, Z. & Peterson, R.T. (2004). Customer perceived value, satisfaction, and loyalty: The role of switching costs. *Psychology & marketing*, 21(10), 799–822.

Advantages of Using Neurotechnologies in the Food Industry

Nikita S. Bukreev¹, Grigory V. Paramonov^{1,2}, Viatcheslav A. Soumerin², Mikhail A. Shank³

¹ *SensoriLab JSC*

² *Moscow State University of Food Production*

³ *Shenzhen MSU-BIT University*

Correspondence concerning this article should be addressed to Nikita S. Bukreev, SensoriLab JSC, ap. № 1474, bld. 1, 42, Bolshoy Blv, Ter. Skolkovo Innovation Center, Moscow, 121205, Russian Federation. E-mail: fox@sensorylab.ru

The article discusses the global growth in interest in neuromarketing from the first official neuromarketing study to the present day. A brief list of neuromarketing definitions in chronological sequence is given and key changes in the definition are traced. A detailed analysis of indicators of growing interest in neuromarketing technologies as indicators of potential advantages in terms of increasing publication activity, growing interest in using neuromarketing technologies in business, as well as increasing popularity of the direction is made. The review of works devoted to bibliographic analysis, meta-analysis of works in the field of neuromarketing as a key indicator of growth in demand for the direction is given. The main “highlights” of publishing activity are considered, as well as dynamic growth of publications according to Google Scholar data. Awareness and attitude of the general public and business to neurotechnologies and neuromarketing as well as their readiness to use these technologies are shown in dynamics. The process of growing interest in neuromarketing from business communities is highlighted. The main force of consolidation of neuromarketing advantages is revealed. The reasoning of the research community in favor of using neuromarketing techniques is shown. The main strategies of companies’ work to bring successful “new” product to the market with statistical data are listed. The main advantages of technologies potentially increasing the chances of success of a new product are listed. We speak about neurotechnologies as a tool for obtaining valuable marketing information in the food industry: from the stage of development to the stage of product implementation. The main areas of application of neuromarketing technologies in business are listed. The features of application of neurotechnologies in the food industry are shown. Some researches in the field of sensory marketing which testify to presence of indirect influence of sensory stimuli on perception of a product are designated. The main key advantages of neuromarketing technologies, which are consistent with the latest achievements in neuromarketing, as well as those advantages which are of discussion nature, are marked out. The advantages identified relate to both the data collection technology and its processing, which includes the potential of the technology in mass application.

Keywords: neurotechnologies, product life cycle (PLC), sensory analysis, sensory neuromarketing, food industry

References

- Ambler, T., Ioannides, A., & Rose, S. (2000). Brands on the brain: neuro-images of advertising. *Business Strategy Review*, 11(3), 17–30. <https://doi.org/10.1111/1467-8616.00144>
- Ariely, D., & Berns, G. (2010). Neuromarketing: the hope and hype of neuroimaging in business. *Nature Reviews Neuroscience*, 11(4), 284–292. <https://doi.org/10.1038/nrn2795>
- Ariely, D., & Berns, G. S. (2010). Neuromarketing: The hope and hype of neuroimaging in business. *Nature Reviews Neuroscience*, 11, 284–292. <https://doi.org/10.1038/nrn2795>
- Berns, G. S. & Moore, S. E. (2012). A neural predictor of cultural popularity. *Journal of Consumer Psychology*, 22(1), 154–160. <https://doi.org/10.1016/j.jcps.2011.05.001>
- Boksem, M. A. S., & Smidts, A. (2015). Brain responses to movie trailers predict individual preferences for movies and their population-wide commercial success. *Journal of Marketing Research*, 52(4), 482–492. <https://doi.org/10.1509/jmr.13.0572>
- Burgos-Campero, A. A. & Vargas-Hernandez J. G. (2013). Analytical approach to neuromarketing as a business strategy. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 99, 517–525. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.10.521>

How to Cite

Bukreev, N. S., Paramonov, G. V., Soumerin, V. A., & Shank, M. A. (2020). Advantages of Using Neurotechnologies in the Food Industry. *Health, Food & Biotechnology*, 2(1). <https://doi.org/10.36107/hfb.2020.11.s266>

- Camerer, C., Loewenstein, G. & Prelec, D. (2005). Neuroeconomics: How neuroscience can inform economics. *Journal of Economic Literature*, 43(1), 9–64. <https://doi.org/10.1257/0022051053737843>
- Cheng, T. C. E., Lai, L. C. F., & Yeung, A. C. L. (2008). The driving forces of customer loyalty: a study of internet service providers in Hong Kong. *International Journal of E-Business Research*, 4(4), 26–42. <https://doi.org/10.4018/jebr.2008100103>
- Cherubino, P., Martinez-Levy, A. C., Caratù, M., Cartocci, G., Flumeri, G. Di, Modica, E., Rossi, D., Mancini, M., & Trettel, A. (2019). Consumer behaviour through the eyes of Neurophysiological measures: State-of-the-art and future trends. *Computational Intelligence and Neuroscience, Special Issue, 2019*. <https://doi.org/10.1155/2019/1976847>
- Constantinescu, M., Orindaru, A., Pachitanu, A., Rosca, L., Caescu, S.-C., & Orzan, M. C. (2019). Attitude evaluation on using the neuromarketing approach in social media: Matching company's purposes and consumer's benefits for sustainable business growth. *Sustainability*, 11(24), 7094. <https://doi.org/10.3390/su11247094>
- de Oliveira, J. H. C., & de Giralaldi, J. M. E. (2017). What is Neuromarketing? A proposal for a broader and more accurate definition. *Global Business & Management Research*, 9(2), 19–29.
- Egermann, H. (2019). Creating a brand image through music: Understanding the Psychological mechanisms behind audio branding. In M. Grimshaw, M. Walther-Hansen, & M. Knakkegaard (Eds.), *The Oxford Handbook of Sound and Imagination* (vol. 2). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/oxfordhb/9780190460242.013.29>
- Falk, E., O'Donnell, M., Tompson, S., Gonzalez, R., Dal, Cin, S., & Strecher, V. (2016). Functional brain imaging predicts public health. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 11(2), 204–214. <https://doi.org/10.1093/scan/nsv108>
- Gaillet, M., Sulmont-Rossé, C., Issanchou, S., Chabanet S., & Chambaron, S. (2013). Priming effects of an olfactory food cue on subsequent food-related behaviour. *Food Quality and Preference*, 30(2), 274–281. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2013.06.008>
- Gaillet-Torrent, M., Sulmont-Rossé, C., Issanchou, S., Chabanet, C., & Chambaron, S. (2014). Impact of a non-attentively perceived odour on subsequent food choices. *Appetite*, 76, 17–22. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2014.01.009>
- Gang, D.J., Lin, W., Qi, Z., & Yan, L.L. (2012). Neuromarketing: Marketing through Science. In *Service Sciences, International Joint Conference on Neural Networks* (vol. 1, pp. 285–289). <https://doi.org/10.1109/IJCSS.2012.65>
- Gkaintatzis, A., Lubbe, R., Karantinou, K., & Constantinides, E. (2019). Consumers' cognitive, emotional and behavioral responses towards background music: An EEG study. In *15th International Conference on Web Information Systems and Technologies* (pp. 314–318). SCITEPRESS. <https://doi.org/10.522%08346603140318>
- Harzing, A.-W., & Alakangas, S. (2016). Google Scholar, Scopus and the Web of Science: A longitudinal and cross-disciplinary comparison. *Scientometrics*, 106, 787–804. <https://doi.org/10.1007/s11192-015-1798-9>
- Hedgcock, W., & Rao A.R. (2009). Trade-off aversion as an explanation for the attraction effect: A functional magnetic resonance imaging study. *Journal of Marketing Research*, 46(1), 1–13. <https://doi.org/10.1509/jmkr.46.1.1>
- Horska, E., Bercik, J., Krasnodebski, A., Matysik-Pejas, R., & Bakayova, H. (2016). Innovative approaches to examining consumer preferences when choosing wines. *Agricultural Economics (Zemědělská Ekonomika)*, 62(3), 124–133. <https://doi.org/10.17221/290/2015-AGRICECON>
- Huang, J., & Wan, X. (2019). The color-flavor incongruency effect in product evaluation and brand perception. *Journal of Consumer Behaviour*, 18(6), 484–495. <https://doi.org/10.1002/cb.1787>
- Hubert, M., & Hubert, M. (2020). Consumer Neuroscience: Recent theoretical and methodological developments for research and practice using a cube model. *Organizational Neuroethics* (pp. 67–86). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-27177-0_6
- Hubert, M., & Kenning, P. (2008) A Current overview of consumer Neuroscience. *Journal of Consumer Behaviour*, 7, 272–292. <http://dx.doi.org/10.1002/cb.251>
- Hubert, M., & Kenning, P. (2008). A current overview of consumer neuroscience. *Neuromarketing*, 7(4-5). <https://doi.org/10.1002/cb.251>
- Hubert, M. (2010). Does neuroeconomics give new impetus to economic and consumer research? *Journal of Economic Psychology*, 31(5), 812–817. <https://doi.org/10.1016/j.joep.2010.03.009>
- Itti, L., & Koch, C. (2001). Computational modelling of visual attention. *Nature reviews neuroscience*, 2(3), 194–203. <https://doi.org/10.1038/35058500>
- Kemp, E. A., Williams, K., Min, D. J., & Chen, H. (2019). Happy feelings: Examining music in the service environment. *International Hospitality Review*, 33(1), 5–15. <https://doi.org/10.1108/IHR-10-2018-0019>
- Kenning, P., & Linzmajer, M. (2011). Consumer neuroscience: An overview of an emerging discipline with implications for consumer policy. *Journal Für Verbraucherschutz Und Lebensmittelsicherheit*, 6(1), 111–125. <https://doi.org/10.1007/s00003-010-0652-5>
- Khushaba, R. N., Wise, C., Kodagoda, S., Louviere, J.,

- Kahn, B. E., & Townsend, C. (2013). Consumer neuroscience: Assessing the brain response to marketing stimuli using electroencephalogram (EEG) and eye tracking. *Expert Systems with Applications*, 40(9), 3803–3812. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.12.095>
- Knutson, B., Rick S., Wimmer, G. E., Prelec, D., & Loewenstein, G. (2007). Neural predictors of purchases. *Neuron*, 53(1), 147–156. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2006.11.010>
- Kroeber-Riel, W. (1979). Activation research: Psychobiological approaches in consumer research. *Journal of Consumer Research*, 5(4), 240–250. <https://doi.org/10.1086/208736>
- Kühn, S., Strelow, E., & Gallinat, J. (2016). Multiple “buy buttons” in the brain: Forecasting chocolate sales at point-of-sale based on functional brain activation using fMRI. *NeuroImage*, 136, 122–128. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.05.021>
- Kumar, H., & Singh, P. (2015). Neuromarketing: An Emerging tool of market research. *International Journal of Engineering and Management Research*, 5(6), 530–535.
- Lee, N., Broderick, A. J., & Chamberlain, L. (2007). What is ‘neuromarketing’? A discussion and agenda for future research. *International Journal of Psychophysiology*, 63(2), 199–204. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2006.03.007>
- Leenders, M. A. A. M., Smidts, A., & El Haji, A. (2019). Ambient scent as a mood inducer in supermarkets: The role of scent intensity and time-pressure of shoppers. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 48, 270–280. <https://doi.org/10.1016/j.jretconser.2016.05.007>
- Lieberman, M. D. (2007). Social cognitive neuroscience: a review of core processes. *Annual Review of Psychology*, 58, 259–289.
- Mannan, S. K., Kennard, C., & Husain, M. (2009). The role of visual salience in directing eye movements in visual object agnosia. *Current biology*, 19(6), R247–R248. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.02.020>
- McClure, S. M., Li, J., Tomlin, D., Cypert, K. S., Montague, L. M., & Montague, P. R. (2004). Neural Correlates of Behavioral Preference for Culturally Familiar Drinks. *Neuron*, 44(2), 379–387. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2004.09.019>
- Milosavljevic, M., Navalpakkam, V., Koch, C., & Rangel, A. (2012). Relative visual saliency differences induce sizable bias in consumer choice. *Journal of Consumer Psychology*, 22(1), 67–74. <https://doi.org/10.1016/j.jcps.2011.10.002>
- Molchanov, N. N., Muravieva, O. S., & Galai, N. I. (2019). Neurotechnologies: Assessment of development prospects in Russia. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya “Ekonomika i pravo”* [Bulletin of the Udmurt University. Economics and Law Series], 2(29), 142–151.
- Nilashi, M., Samad S., Ahmadi, N., Ahani, A., Abumalloh, R.A., Asadi, S., Abdullah, R., Othman, I., & Yadegaridehkordi, E. (2020). Neuromarketing: A review of research and implications for marketing. *Journal of Soft Computing and Decision Support Systems*, 7(2), 23–31.
- Oliver, R. L. (1999). Whence consumer loyalty? *Journal of marketing*, 63(4), 33–44. <https://doi.org/10.2307/1252099>
- Ozkul, E., Boz, H., Bilgili, B., & Koc, E. (2019). What colour and light do in service atmospherics: A neuro-marketing perspective. In M. Volgger & D. Pfister (Eds.), *Atmospheric turn in culture and tourism: Place, design and process impacts on customer behaviour, marketing and branding* (vol. 16, pp. 223–244). Emerald Publishing Limited. <https://doi.org/10.1108/S1871-317320190000016022>
- Plassmann, H., Kenning, P., Deppe, M., Kugel, H., & Schwindt, W. (2008). How choice ambiguity modulates activity in brain areas representing brand preference: Evidence from consumer neuroscience. *Journal of Consumer Behaviour*, 7(4–5), 360–367. <https://doi.org/10.1002/cb.257>
- Plassmann, H., O’Doherty, J., Shiv, B., & Rangel A. (2008). Marketing actions can modulate neural representations of experienced pleasantness. *PNAS*, 105(3), 1050–1054. <https://doi.org/10.1073/pnas.0706929105>
- Plassmann, H., Ramsøy, T. Z. & Milosavljevic, M. (2012). Branding the brain: A critical review and outlook. *Journal of consumer psychology*, 22(1), 18–36. <https://doi.org/10.1016/j.jcps.2011.11.010>
- Plassmann, H., Venkatraman, V., Huettel, S. & Yoon, C. (2015). Consumer neuroscience: Applications, challenges, and possible solutions. *Journal of Marketing Research*, 52(4), 427–435. <https://doi.org/10.1509/jmr.14.0048>
- Proserpio, C., Invitti, C., Boesveldt, S., Pasqualinotto, L., Laureati, M., Cattaneo, C., & Pagliarini, E. (2019). Ambient odor exposure affects food intake and sensory specific appetite in obese women. *Frontiers in Psychology*, 10, 7. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00007>
- Riedl, R., Banker, R. D., Benbasat, I., Davis, F. D., Dennis, A. R., Dimoka, A., Gefen, D., Gupta, A., Ischebeck, A., Kenning, P., Müller-Putz, G., Pavlou, P. A., Straub, D. W., vom Brocke, J., & Weber, B. (2010). On the foundations of NeuroIS: Reflections on the Gmunden Retreat 2009. *Communications of the Association for Information Systems*, 27, 243–264. <https://doi.org/10.17705/1CAIS.02715>
- Salnikova, E., Baglione, S. L., & Stanton, J. L. (2019). To launch or not to launch: An empirical estimate

- of new food product success rate. *Journal of Food Products Marketing*, 25(7), 771–784.
- Schneider, T., & Woolgar, S. (2012). Technologies of ironic revelation: Enacting consumers in neuro-markets. *Consumption Markets & Culture*, 15(2), 169–189. <https://doi.org/10.1080/10253866.2012.654959>
- Shahriari, M., Feiz, D., Zarei, A., & Kashi, E. (2019). The meta-analysis of neuromarketing studies: Past, present and future. *Neuroethics*, 2019. <https://doi.org/10.1007/s12152-019-09400-z>
- Shiv, B., & Fedorikhin, A. (1999). Heart and mind in conflict: The interplay of affect and cognition in consumer decision making. *Journal of consumer Research*, 26(3), 278–292. <https://doi.org/10.1086/209563>
- Shiv, B., Loewenstein, G., Bechara, A., Damasio, H., & Damasio, A.R. (2005). Investment behavior and the negative side of emotion. *Psychological science*, 16(6), 435–439. <https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2005.01553.x>
- Singer E. (2004). They know what you want – if neuromarketers can find the key to our consumer desires, will they be able to manipulate what we buy. *New scientist*, 183(2458), 36–37.
- Spence, C. (2020). On the ethics of neuromarketing and sensory marketing. In J. Martineau, E. Racine (Eds.), *Organizational Neuroethics. Advances in Neuroethics* (pp. 9-29). Springer.
- Stasi, A., Songa, G., Mauri, M., Ciceri, A., Diotallevi, F., Nardone, G., & Russo, V. (2018). Neuromarketing empirical approaches and food choice: A systematic review. *Food Research International*, 108, 650–664. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2017.11.049>
- Telpaz, A., Webb, R., & Levy, D.J. (2015). Using EEG to predict consumers' future choices. *Journal of Marketing Research*, 52(4), 511–529. <https://doi.org/10.1509/jmr.13.0564>
- Tiwari, S. (2020). Neuromarketing and Information Technology. *CYBERNOMICS*, 2(1), 21–24. <https://www.cybernomics.in/index.php/cnm/article/view/188>
- Van Doorn, G., & Miloyan, B. (2018). The Pepsi paradox: A review. *Food Quality and Preference*, 65, 194–197. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodqual.2017.11.007>
- Venkatraman, V., Dimoka, A., Pavlou, P.A., Vo, K., Hampton, W., Bollinger, B., Hershfield, H.E., Ishihara, M., & Winer, R.S. (2015). Predicting advertising success beyond traditional measures: New insights from neurophysiological methods and market response modeling. *Journal of Marketing Research*, 52(4), 436–452. <https://doi.org/10.1509/jmr.13.0593>
- Vlăsceanu, S. (2014). Neuromarketing and Neuroethics. *Procedia. Social and Behavioral Sciences*, 127, 763–768. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.03.351>
- Yağcı, M., İ., Kuhzady, S., Balık, Z., & Öztürk, L. (2018). In Search of consumer's black box: A bibliometric analysis of Neuromarketing research. *Tüketici ve Tüketim Araştırmaları Dergisi*, 2018(1), 101–134.
- Yang, Z. & Peterson, R.T. (2004). Customer perceived value, satisfaction, and loyalty: The role of switching costs. *Psychology & marketing*, 21(10), 799–822.

Разработка антиадгезионных фторопластовых покрытий для пищевых технологий

Губанова Марина Ивановна, Кириш Ирина Анатольевна, Банникова
Ольга Анатольевна, Безнаева Ольга Владимировна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Корреспонденция, касающаяся этой статьи, должна быть адресована Губановой М.И., ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», адрес: 125080, город Москва, Волоколамское шоссе, дом 11. E-mail: m_guban@rambler.ru

В статье рассматривается актуальный вопрос создания модифицированных полимерных композиций на основе порошкового фторопласта для антиадгезионных термостойких покрытий. В настоящее время сложность создания разделительных покрытий пищевого назначения обусловлена ограниченным выбором полимерных материалов, пригодных для покрытий, контактирующих с продуктами питания, обладающих высокой термостойкостью, а также низкой поверхностной энергией, ответственной за уровень адгезионного взаимодействия с пищевыми средами. Для исследования комплекса структурных характеристик использованы методы сканирующей электронной микроскопии, ИК-спектроскопии. Исследованы как поперечные срезы, так и поверхность покрытий, что позволило установить, что причиной улучшенных механических характеристик модифицированных покрытий является равномерное распределение их по объему, приводящее к гомогенизации структуры, формированию гладкой поверхности покрытий и бездефектной границы раздела «металл-покрытие».

Ключевые слова: антиадгезионные покрытия, фторопласты, модификация, полимерные композиции

Введение

В настоящее время вопрос расширения ассортимента термо- и химически стойких полимерных материалов пищевого назначения, пригодных для покрытий, контактирующих с продуктами питания актуален в связи с ограниченным выбором полимерных материалов, обладающих высокой термостойкостью, а также низкой поверхностной энергией, ответственной за уровень адгезионного взаимодействия с пищевыми средами.

В России, и за рубежом в качестве возможных пленкообразователей для разделительных слоев исследовали фторопласты, пентапласты, полиолефины, кремнийорганические соединения и другие полимеры. Однако практическое использование получили преимущественно кремний- и фторорганические соединения, в меньшей степени - полиолефины, в связи с тем, что разделительные покрытия, применяемые в контакте с пищевыми

продуктами, должны отвечать определенным требованиям. Ведь наряду с температурными параметрами обработки, особенности химической природы и физической структуры различных пищевых продуктов диктуют необходимость индивидуального подхода к обоснованию выбора эффективных полимерных материалов для антиадгезионных покрытий оборудования и технологической оснастки пищевой промышленности.

Широко известные на сегодняшний день покрытия для хлебопекарной промышленности на основе суспензионного фторопласта и кремнийорганических соединений предназначены в основном для эксплуатации в щадящих условиях: на агрегатах малой и средней мощности периодического типа; в режиме, исключающем горячие простои и термоудары; и не рассчитаны на условия промышленной эксплуатации на отечественных высокопроизводительных агрегатах непрерывного действия, в том числе с неполной и неритмичной нагрузкой. Кроме того, известные покрытия технологиче-

ски не позволяют создать сплошные равной толщины антипригарные покрытия, как для хлебных форм, так и для перфорированных листов, гофрированных кондитерских форм, профилей сложной конфигурации. Недостатками известных отечественных и зарубежных покрытий на основе суспензионных композиций являются: трудоемкость и длительность процесса приготовления композиций, а также применение экологически опасных веществ (толуола, ксилола и др.). Покрытия на основе растворных систем, не обеспечивают равномерности слоя по всей поверхности оснастки, что вызывает деформацию тепловых полей, возникновение термоударов на отдельных участках оснастки с последующим ее короблением или прогоранием и другие нежелательные последствия. В наибольшей степени устранить указанные негативные факторы возможно лишь при использовании порошковых антипригарных покрытий.

Порошковые композиции являются экологически благоприятными материалами, позволяя создавать практически безотходные производства с использованием высокопроизводительных методов, в частности, электростатического напыления (Harris, 1995), технологичность порошковых композиций позволяет создать покрытие равной толщины на поверхностях сложной конфигурации (Vincentz, 1999; Anan'ev, 2008).

Литературный обзор

Для работы на высокотемпературных агрегатах непрерывного действия необходимы покрытия нового поколения, так как жесткие условия приводят к быстрому «выгоранию» всех ранее известных типов покрытий. Нами проведен анализ некоторых термостойких пленкообразующих и способов модификации полимерных покрытий.

Термостойкость определяется не только химическим составом полимера, а главным образом строением звена и всей макромолекулы. Известно, что повышению теплостойкости способствуют все факторы, снижающие подвижность полимерных цепей: наличие громоздких боковых групп, сильное межмолекулярное взаимодействие, кристалличность, поперечные связи, циклы в полимерных цепях (Коршак, 1969; Anan'ev, 2008).

При термическом воздействии на полимерную пленку независимо от того, исходит это воздействие от подложки или с внешней стороны, воз-

можно протекание обратимых и необратимых процессов. Первые связаны с ослаблением межмолекулярного взаимодействия в полимере и характеризуют теплостойкость, вторые – разрывом химических связей; они отражают термостойкость. Склонность полимеров к необратимым химическим изменениям связана с энергией их химических связей. Наиболее высокие значения энергии диссоциации характерны для связей C-F 486 кДж/моль, B-O 475 кДж/моль, Si-O 446 кДж/моль (против 250-295 кДж/моль для связи C-C). В связи с этим фторопласты, бор-, кремний- и другие элементорганические полимеры относятся к числу наиболее термостойких (Мухаметов, 2018)¹.

Покрытия из полиимидных лаков марок ПАК-1 и ПАК 1/20 предназначены для эксплуатации при температурах от -200 до 250°C, ограниченно – до 300°C и кратковременно – до 400°C. Такие марки как, Пак-1/25, СП-1, ПИР-1 используются для получения покрытий от -200 до 220-250°C и кратковременно до 300-320°C

Пентапласт используется в виде тонких покрытий, получаемых из суспензий в органических растворителях с последующим спеканием или напылением порошкообразного полимера. Подобные покрытия устраняют применение дорогих сплавов и нержавеющей стали при изготовлении коррозионностойких деталей.

В работах В.Е. Гуля с сотрудниками представлены результаты исследований пентапласта. Исследована зависимость величины адгезии покрытий на основе пентапласта от температуры и времени обработки покрытия. В результате экспериментов показано, что максимальная адгезионная прочность пентапласта (7,3 МПа) наблюдается при температуре оплавления 250°C и времени оплавления 30 минут. По санитарно-гигиеническим свойствам пентапласт разрешается использовать в пищевой промышленности только в тех случаях, когда температура эксплуатации не будет превышать 80°C.

Отечественная промышленность вырабатывает целый ряд жидких кремнийорганических полимеров с разнообразными свойствами и назначением. Наибольшее распространение и применение в хлебопекарной промышленности нашли кремнийорганические жидкости ГКЖ-94 и АМСР-3. Термостабильность кремнийорганических жидкостей находится в пределах от 100 до 350°C. К достоинствам кремнийорганических олигомеров

¹ Яковлев, А. Д. (1981). *Химия и технология лакокрасочных покрытий*. Химия.

следует отнести хорошие антиадгезионные свойства, простоту и доступность технологии их получения, серийный выпуск ингредиентов. К недостаткам относится низкая стойкость к пищевым кислотам, недостаточные износ- и термостойкость, а также относительно непродолжительный срок службы. Известен ряд зарубежных композиций для покрытий на основе кремнийорганических соединений, отличающихся, в основном, модифицирующими добавками.

Одним из наиболее перспективных классов пленкообразующих для антипригарных покрытий являются фторорганические полимеры. Они характеризуются биологической инертностью; высокой устойчивостью к агрессивным средам; низкой поверхностной активностью; пригодностью к эксплуатации в широком интервале высоких и низких температур. Политетрафторэтилен (ПТФЭ, фторопласт - 4) – полимер этилена, в котором все атомы водорода замещены фтором, достаточно хорошо изучен (Milek, 1965). Это высокомолекулярный кристаллический полимер с температурой плавления около 330 °С, выше которой исчезает кристаллическая структура и полимер превращается в аморфный прозрачный материал, не переходящий из высокоэластического в вязкотекучее состояние даже при температуре разложения. Особенности структуры перфторированной цепи политетрафторэтилена и необычайно высокие значения молекулярной массы обуславливают выдающуюся термостойкость и теплостойкость этого полимера (температура разложения > 425 °С), значительно более высокую, чем у остальных гомополимеров.

Вследствие замены атомов водорода в углеродной цепи на атомы фтора полимерные цепи принимают спиральную конформацию. В результате закручивания углерод-углеродной цепи ПТФЭ в кристаллическом состоянии образуется почти идеальный цилиндр с внешней оболочкой из атомов фтора (Kabat, 2018).

Наличие такого инертного, полностью фторированного внешнего слоя обуславливает исключительно высокую химическую стойкость и низкую плотность энергии когезии этого полимера.

Поверхностная энергия ПТФЭ – одна из самых низких для всех известных твердых тел. Именно этими причинами объясняется низкий коэффициент трения поверхности ПТФЭ, его высокие антиадгезионные свойства. Кристаллические области ПТФЭ содержат длинные ленты шириной от 0,2 до 1 мкм,

состоящие из параллельных полос, перпендикулярных длинной оси ленты (Wang, 2018).

Сополимер тетрафторэтилена с гексафторпропиленом (ТФЭ-ГФП, фторопласт – 4МБ) имеет кристаллическую структуру. Кристаллические переходы, характерные для политетрафторэтилена, сдвигаются в область значительно более низких температур или не проявляются. Так, переходы первого порядка, характерные для политетрафторэтилена при 19 и 327 °С, для сополимера сдвигаются в область температур –85 и 275 °С соответственно (Encyclopedia of Polymer Science and Technology, 1970).

Поиск по зарубежной базе данных позволил выявить ряд фторопластовых композиций, предназначенных для антипригарной защиты кухонной посуды (суспензионные), для антикоррозионной защиты оборудования нефтехимических предприятий (суспензионные), а также для окрашивания металлических конструкций в авиационной промышленности (порошковые). Ближайшим аналогом отечественных композиций из зарубежных патентов является композиция запатентованная фирмой DuPont² на основе суспензионных фторопластов с введением слюды, покрытой двуокисью титана и других компонентов, предназначенная для кухонной посуды.

По совокупности физических и технологических свойств, а также с учетом разрешенного контакта с пищевыми продуктами, фторопласт-4МБ является наилучшим выбором. По сравнению с другими фторполимерами, фторопласт-4МБ отличается большей прозрачностью и отсутствием цвета, несколько более высокой прочностью. Из него легче получить порошок с нужной степенью дисперсности, что позволяет формировать более качественные тонкослойные покрытия. К зарубежным аналогам фторопласта-4МБ по свойствам и применению относятся полимеры группы TeflonFEP, HostaflonFEP, NeoflonFEP.

Как указывалось ранее, в макромолекулах сополимера полярные группы практически отсутствуют, в связи с этим получение покрытий из фторопласта – 4МБ связано с определенными техническими трудностями. Симметричное строение фторуглеродных связей устраняет возникновение нескомпенсированных зарядов (дипольный момент фторопласта практически равен нулю), поэтому поляризуемость частиц фторопласта в электрическом поле весьма незначительная. Это не позволя-

² DUPONT, Fluoropolymercoatings, Пат. GB № 1557230)

ет получать из исходного фторопласта равнотолщинные покрытия. Кроме того, при температурах, которые мы можем обеспечить для формирования покрытий, вязкость расплава высока, что значительно усложняет формирование защитных слоев заданной толщины на металлической поверхности. Промышленность в настоящее время не располагает надежными технологическими приемами, позволяющими формировать пленку покрытия на основе сополимера ТФЭ-ГФП необходимой для антиадгезионной и противокоррозионной защиты толщины, сплошности и с высокой адгезией к металлической основе.

К модифицирующим добавкам для термостойких покрытий наряду с общими требованиями предъявляют также и некоторые специфические. В частности, эти ингредиенты должны сохранять физические и химические свойства в широком интервале температур, способствовать снижению внутренних напряжений в покрытии и сближению температурных коэффициентов расширения покрытия и подложки. В состав материалов для термостойких лакокрасочных покрытий вводят главным образом неорганические вещества – окись цинка, двуокись титана, окись хрома, железистые окисные, селено-кадмиевые порошки, алюминиевую пудру, цинковую пыль, порошки из нержавеющей стали и др. (Макарова, 1998; Thometzec, 1997). Для повышения твердости, теплопроводности, стойкости к истиранию, снижения деформации под нагрузкой и коэффициента термического расширения во фторопластовые композиции добавляют наполнители, выдерживающие температуру его переработки (Нисон, 1984).

Часто для снижения вязкости расплава полимера используются низкомолекулярные добавки, и они могут играть роль искусственных зародышей кристаллизации, способствующих образованию надмолекулярных структур (Макарова, 1998).

Введения 0,1-0,5% высокодисперсного наполнителя бывает достаточно для модификации кристаллической структуры всего объема полимера.³

Наполненные композиции поливинилиденфторида с сажей, окисями хрома и цинка имеют повышенную износостойкость и менее склонны к термодеструкции⁴. С целью уменьшения температурных напряжений и для сближения значений температурных коэффициентов расширения полимерного покрытия и металлической детали

предложено введение нитрида бора, как наполнителя с наименьшим коэффициентом температурного расширения ($1,1 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) (Паншин, 1978). Нитрид бора вводят в композиции на основе фторопласта-4 для повышения износостойкости покрытий (Джейл, 1968).

Двуокись титана – белое тугоплавкое вещество, нерастворимое в воде и разбавленных кислотах. Широко применяется в качестве белого пигмента в лакокрасочной промышленности, в производстве синтетических волокон, пластмасс, термостойкого и оптического стекла (например, Judin, 1992). Одной из основных сфер применения двуокиси титана является пищевая упаковка. Диоксид титана непосредственно применяется при изготовлении полимерных порошковых покрытий, полиуретановых покрытий, эпоксидных покрытий, электроосаждаемых красок и др. (Слонимский, 1967; Thometzec, 1997).

Согласно (Соголова, 1970) порошковая композиция для покрытий в качестве фторсодержащего сополимера содержит (в масс.ч.): фторопласт 4 МБ сополимер тетрафторэтилена с гексафторпропиленом – 100,0; дисульфид молибдена 4,0-10,0; нитрид бора 1,0-2,0; окись хрома 2,0-4,0; трифенилфосфин 4,0-6,0; дифенилсиландиол 5,0-8,0. Однако данное покрытие также имеет целый ряд существенных недостатков. После проведения эксплуатационных испытаний выяснилось, что наличие дисульфида молибдена при ужесточении условий эксплуатации приводит к растрескиванию покрытий и потере антипригарных (антиадгезионных) свойств. Кроме того, дисульфид молибдена склонен к гидролитической реакции. Трифенилфосфин является токсичным. Вышеуказанные покрытия имеют структурную неоднородность и повышенные внутренние напряжения, следствием чего является растрескивание и снижение его адгезии к металлу. Предлагаемый разброс процентного содержания компонентов не позволяет эффективно оптимизировать эксплуатационные свойства покрытия.

Теоретическое обоснование

Для создания композиций на основе порошкового фторопласта-4МБ с заданным комплексом эксплуатационных свойств, обеспечивающих необходимые технологические параметры полимерных композиций и адаптированным к известным технологиям нанесения необходима структурная

³ Основы технологии переработки пластмасс, под ред. В.Н. Кулезнева, В.К. Гусева, 1995

⁴ Thometzec, P., et al. (1996). Properties of powder paint materials with inorganic pigments. *Farbe und Lack*, 102(2), 93-100.

модификация, направленная на улучшение физических (прежде всего адгезионных) свойств фторопласта, осуществляемая преобразованием их надмолекулярной структуры.

В нашей работе мы использовали принципы выбора модифицирующих добавок для полимерных композиционных материалов, развитых в фундаментальных исследованиях в области создания оптимальных фазовых структур в полимерных композитах, выполненных под руководством д.х.н., проф. В.Н. Кулезнева и д.т.н., проф. И.Д. Симонова-Емельянова (Симонов-Емельянов, 2005 Kuleznev, 1986)

В общем случае вносимые модифицирующие добавки должны отвечать следующим требованиям:

1. высокая степень дисперсности; желательно, чтобы частицы наполнителя были много меньше зерен полимера, на основе которого составляется композиция;
2. термостойкость в пределах температуры и времени пленкообразования;
3. относительная инертность по отношению к полимеру: наполнитель не должен существенно увеличивать температуру текучести и вязкость расплавов, т.е. тормозить пленкообразование.

Заинтересованность в создании прочных долговечных покрытий обуславливает необходимость дифференцированного подхода к выбору наполнителей с учетом их усиливающего действия на полимер. Усиление полимерных пленок при введении наполнителей подчиняется общим закономерностям поведения полимерных систем.

Таким образом, анализ литературных данных позволил определить нам составы полимерных композиций для получения покрытий с заданными свойствами.

Материалы

В качестве объектов исследования был выбран порошковый фторопласт-4МБ и композиции покрытий на его основе. В композиции в качестве модифицирующих добавок вводили следующие компоненты: нитрид бора, оксид хрома, двуокись титана, ДФСД. Содержание модификатора варьировали в интервале от 0,05 до 10 масс. ч. на 100 масс. ч. фторопласта-4МБ. Была исследована следующая группа композиций:

- №1: фторопласт-4МБ + MoS₂;
- №2: фторопласт-4МБ + Cr₂O₃;
- №3: фторопласт-4МБ + TiO₂;

- №4: фторопласт-4МБ + BN;
- №5: фторопласт-4МБ + ДФСД.

Содержание модификатора варьировали в интервале от 0,05 до 10 масс. ч. по отношению к 100 масс. ч. фторопласта-4МБ.

Для исследования покрытий их формировали на алюминиевой фольге, а затем отделяли от подложки. Алюминиевую пластинку оборачивали алюминиевой фольгой толщиной 50-70 мкм; поверхность фольги обезжиривали ацетоном. После нанесения композиции пластины подвергали термообработке в условиях, при которых композиции проявляли максимальное адгезионное взаимодействие с алюминием - в течение 3,5÷4,5 часов при температуре 340-360 °С, с последующим естественным охлаждением до комнатной температуры. Затем участок фольги с полученным покрытием выдерживали в растворе соляной кислоты до полного растворения алюминия.

Методы исследования

Метод сканирующей электронной микроскопии

Структурно - морфологические исследования композиций на основе фторопласта-4МБ (в виде свободных пленок и покрытий на подложке) проводили при помощи сканирующего электронного микроскопа «JSM» с рентгеновским микроанализатором KEVEX-711 методом электронно-зондового микроанализа, с определением элементного состава и компьютерной обработкой спектров характеристического рентгеновского излучения. Поперечные срезы готовили при помощи ультрамикротомы. Разрешение микроскопа при исследованиях составляло 60 ангстрем.

Метод ИК-спектроскопии

Измерения ИК-спектров образцов «свободных» пленок фторопластовых композиций проводилось:

- на ИК – Фурье спектрометре, модель EQUINOX 55, фирма «Bruker», Германия. Спектральный диапазон прибора – 7500-50 см⁻¹, разрешение – лучше, чем 0,5 см⁻¹, точность определения волнового числа – лучше, чем 0,01 см⁻¹. Спектроскопическое программное обеспечение прибора – пакет аналитических программ OPUS / IR.
- на ИК – Фурье спектрометре Spectrum One фирмы «Perkin-Elmer» с использованием приставки Universal ATR.

При исследовании образцов были использованы стандартная методика «на просвет» и метод многократного нарушенного полного внутреннего отражения (МНПВО).

Приставка МНПВО имеет форму параллелепипеда с числом отражений $N = 210$ и снабжена угловым измерительным устройством, позволяющим работать при нескольких углах отражения, определяемых с точностью $\pm 0,5$, в пределах от 25 до 60° .

Результаты и обсуждение

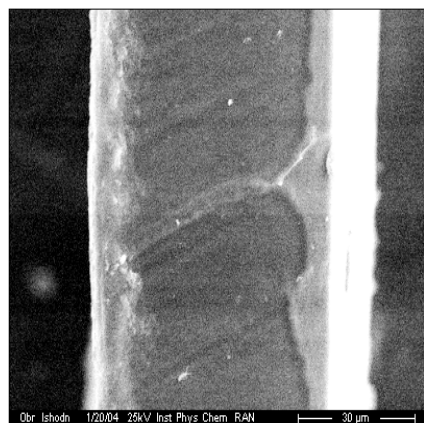
Исследование структуры фторопластовых покрытий методом электронно-микроскопического сканирования

Электронно-микроскопические исследования фторопластовых покрытий проводили методом сканирующей электронной микроскопии совместно с Институтом физической химии РАН. Изучали покрытия из исходного фторопласта и модифицированных композиций. Исследования были выполнены при помощи сканирующего микроскопа фирмы «JSM», оснащенного рентгеновским микроанализатором «Kevex». Разрешение микроскопа при исследованиях составляло 60 ангстрем.

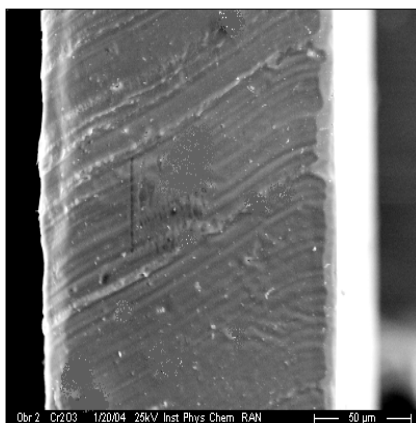
Основной целью этих экспериментов было изучить рельеф поверхности и структуру покрытий, установить характер распределения модифицирующих добавок в покрытиях, косвенно оценить качество адгезионного взаимодействия покрытия и основы на границе алюминий – фторопласт. Для этого были выполнены срезы свободных пленок

Рисунок 1

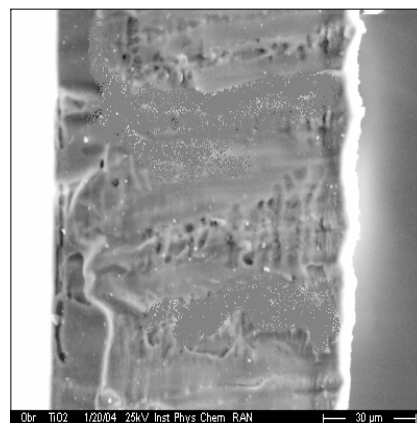
Электронные микрофотографии поперечных срезов свободных пленок: (а) – исходного фторопласта-4МБ; (б) – фторопласт-4МБ (100 масс.ч.) + TiO_2 (1 масс.ч.); (в) – фторопласт-4МБ (100 масс.ч.) + ДФСД (0,05 масс.ч.)



(а)



(б)



(в)

нок покрытий, и поперечных срезов, полученных с элементов таких форм. Срезы получали при помощи ультрамикротомы, направление движения ножа прибора при срезе – параллельно поверхности формы.

На рисунке 1 представлены микрофотографии поперечных срезов свободных пленок исходного фторопласта и модифицированных композиций. На микрофотографиях отчетливо видно, что рельеф поверхности срезов модифицированных образцов характеризуется более ровными границами по сравнению с исходным образцом, вероятно, вследствие изменения соотношения кристаллической и аморфной фаз с образованием бездефектной однородной аморфизированной структуры.

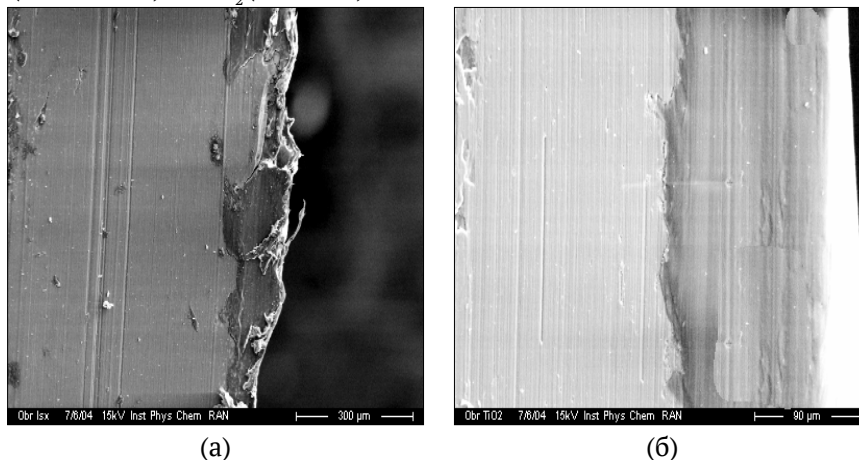
На микрофотографиях поперечных срезов, представленных на рисунке 2 у исходного образца фторопластового покрытия на подложке, в отличие от модифицированного покрытия на подложке, на поверхности и на границе с подложкой видны микродефекты, на краях которых при нагрузке могут возникать перенапряжения. Это, скорее всего, и является причиной улучшения механических характеристик при модификации.

При этом в объеме образцов не обнаружено пор или других дефектов, что свидетельствует о весьма однородной структуре всех исследованных образцов.

На рисунке 3 представлена микрофотография поперечного среза свободной пленки модифицированной композиции, а также микрофотографии, отражающие распределение элементов, присут-

Рисунок 2

Электронные микрофотографии поперечных срезов покрытий: (а) – исходного фторопласта-4МБ; (б) – фторопласт-4МБ (100 масс.ч.) + TiO_2 (1 масс.ч.)



ствующих в композиции, на данном участке образца. Число светлых точек на единице поверхности в поле микрофотографии пропорционально содержанию элемента на этом участке образца. Анализ характеристического вторичного излучения при сканировании позволяет убедиться в наличии добавок в смеси в ожидаемых концентрациях и равномерном характере их распределения по сканируемой поверхности. Анализ микрофотографий, полученных с поверхности пленок и покрытий, а также их поперечных срезов (анализ проводили по элементам: азот, бор, титан, хром, кислород), позволил установить, что причиной улучшенных механических характеристик модифицированных покрытий является равномерное распределение модифицирующих добавок по объему, приводящее к образованию более упорядоченной структуры, формированию гладкой поверхности покрытий и бездефектной границы раздела «металл-покрытие». Для получения дополнительных данных по характеру структурных изменений фторопластовых покрытий и позволяющих более полно раскрыть механизм их формирования, были проведены спектроскопические исследования в ИК-области.

Исследование структуры фторопластовых покрытий методом ИК-спектроскопии

Представляло интерес определить влияние добавок на структуру покрытий, и, в частности, выяснить, однотипна ли структура полимерной композиции в массе и поверхностных слоях. С этой целью провели исследования методами ИК-спектроскопии на просвет и МНПВО.

При исследовании структуры были проведены две серии опытов: с помощью ИК-Фурье спектрометра SpectrumOne фирмы Perkin-Elmer на при-

ставке UniversalATR, а также с помощью ИК Фурье спектрометра Eq. 55S фирмы BRUKER с применением приставки “на отражение – поглощение ReflectionAbsorption” для повышения чувствительности приборов.

В первой и второй серии испытывали следующую группу образцов: №1 - исходный фторопласт 4-МБ, №2 – Фторопласт-4МБ + TiO_2 , №3 - Фторопласт-4МБ + BN, №4- фторопласт-4МБ + MoS_2 . Содержание модификатора в композиции варьировали от 0,05 масс.ч. до 10 масс.ч.

В характерных спектрах образцов на просвет (рисунок 4) наблюдаются неинтенсивные полосы поглощения, которые обычно относят к колебаниям в аморфной фазе, дефектам, обертонам и комбинационным полосам. Эти частоты и их отнесения приведены в таблице 1.

Из сравнения представленных спектров исследуемых образцов видно, что в спектрах образцов с введенными добавками меняется соотношение полос: 1448 и 1415 см^{-1} , 1879 и 1854 см^{-1} : в первом случае наблюдается увеличение интенсивности полосы 1415 см^{-1} , во втором - уменьшение 1854 см^{-1} . Расчет относительных интенсивностей первой пары полос (таблица 2) показал, что они увеличиваются для обеих полос, но для полосы 1415 см^{-1} несколько больше. Для образца №2 эта величина несколько выше, чем для образца №3.

Расчет относительных интенсивностей первой пары полос (таблица 2) для спектров представленных на рисунке 5 показал, что они увеличиваются для обеих полос, но для полосы 1415 см^{-1} несколько больше. Для образца №2 эта величина несколько выше, чем для образца №3.

Рисунок 3

(а) – электронная микрофотография поперечного среза образца свободной пленки модифицированной композиции; (б) – (е) – снимки вторичного рентгеновского излучения элементов композиции: (б) – углерода, (в) – бора, (г) – фтора; (д) – титана, (е) – хрома

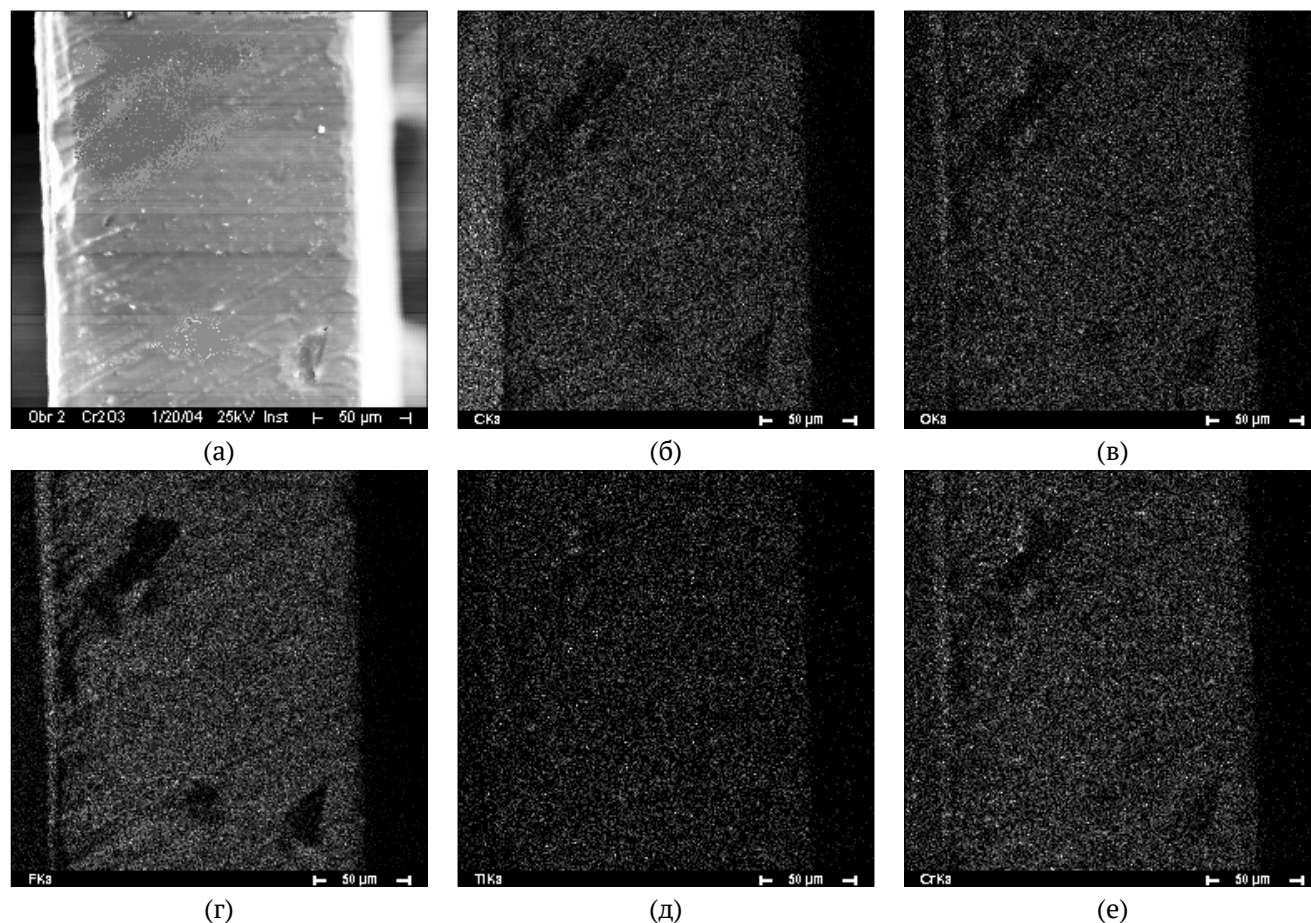


Таблица 1

Частоты и отнесения полос ИК-спектров

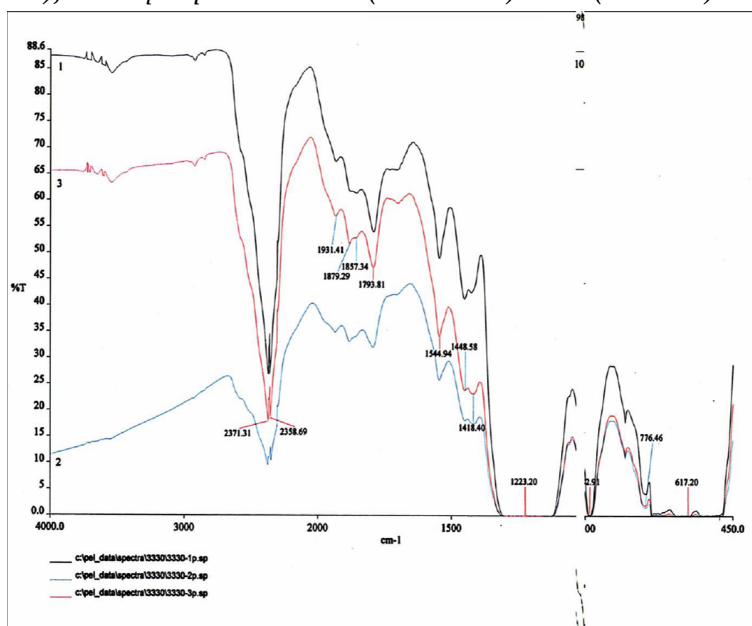
Частота, см ⁻¹	Колебание	Отнесение
1	2	3
2390	1242+1150	ν (CC); γ_w (CF ₂) + ν (CF ₂); δ (CF ₂)
2360	1210+1150	ν (CF ₂); N (CC) + ν (CF ₂); Δ (CF ₂)
1879	1242+638	ν (CC); Γ_w (CF ₂) + γ_w (CF ₂)
1857	1210+638	ν (CF ₂); N (CC) + γ_w (CF ₂)
1792	1150+638	ν (CF ₂); γ (CF ₂) + γ_w (CF ₂)
1545	1242+291	ν (CC); γ_w (CF ₂) + γ_t (CF ₂)
1450	1242+203	ν (CC); γ_w (CF ₂) + γ_t (CF ₂)
1415	1210+203	ν (CF ₂); ν (CC) + γ_t (CF ₂)
850		Колебание аморфной фазы
778		Колебание аморфной фазы

Примечания. где ν - валентные колебания, γ_w - веерные колебания, γ_t - крутильные колебания δ - деформационные колебания

Эти различия, проявившиеся и во второй серии опытов, на наш взгляд, свидетельствуют о конформационных разупорядоченностях цепей политетрафторэтилена при внешних воздействиях (температурный фактор), а также при введении различных наполнителей.

Рисунок 4

ИК-спектры, полученные методом на просвет: №1 – исходный фторопласт 4-МБ; №2 – фторопласт-4МБ (100 масс.ч.)+TiO₂(1масс.ч.); №3 – фторопласт-4МБ (100 масс.ч.) +mBN(1 масс.ч.)



По-видимому, введение добавок приводит к увеличению содержания аморфной фазы, т.е. уменьшению степени упорядоченности. Это согласуется с результатами исследований, описанными в диссертации Макаровой В.С.: были выявлены закономерности изменения соотношения аморфной и кристаллической фаз фторопласта-4МБ и покрытий на его основе в зависимости от температуры и продолжительности нагрева. Изучение структуры фторопласта-4МБ и покрытий на его основе осуществлялось с помощью рентгенодифракционного метода.

Хотя использованный нами способ структурной модификации с целью направленного изменения физических свойств полимеров введения в полимер малых количеств (не больше нескольких %) веществ, влияющих на формирование надмолекулярной структуры модифицируемого полимера, уже имеет практическое значение (такие композиции защищены патентом RU №2256681 от 20.07.2005г. - авторы Губанова М.И., Ананьев В.В., Семенов Г.В., Сергиенко Т.Е., его механизм пока еще изучен мало. Аналогичный эффект «легирую-

щих добавок» в расплавах термопластов был описан в работах Модеста Сергеевича Акутина с сотрудниками (Акутин и др., 1977, 1987).

Таким образом, можно предположить что полученные нами результаты сопоставимы с существующими представлениями о процессах формирования структуры полимерных композиционных материалов.

Заключение

По результатам проведенных исследований определены закономерности влияния специфики структурообразования при формировании и эксплуатации покрытий, позволяющие разработать оптимальные условия получения покрытий с высокими адгезионными свойствами к поверхности металлической формирующей тары и антиадгезионными свойствами к пищевой продукции. Эта задача решалась с применением современных методов структурного анализа.

Таблица 2

Относительная интенсивность полос

№№ образца	D_{780}/D_{2365}	D_{1449}/D_{2365}	D_{1415}/D_{2365}	D_{1415}/D_{1449}
1.	1,63	0,295	0,268	0,91
2.	1,98	0,399	0,427	1,08
3.	1,76	0,393	0,413	1,05

Изучены структурные превращения на молекулярном уровне на различных стадиях формирования покрытий методами электронной микроскопии, инфракрасной спектроскопии.

Проведенный комплекс исследований позволил определить влияние модифицирующих добавок на структурные превращения фторопластовых композиций для создания антиадгезионных покрытий нового поколения.

В будущем планируется продолжить исследования по данной тематике, в частности по оптимизации температурно-временного режима формирования адгезионных свойств покрытий к поверхности металла.

Благодарности

Авторы выражают благодарность за помощь в проведении научных исследований Институту физической химии РАН имени А.Н. Фрумкина.

Литература

- Бабин, А. Н., & Гусева, М. А. (2016). Использование реологического метода для исследования особенностей растворимости компонентов в полимерном связующем. *Труды ВИАМ*, 6(42), 05. 10.18577/2307-6046-2016-0-6-5-5
- Белый, В. А., Свириденко, А. И., Петрокович М. И., & Савкин, В. Г. (1972). *Трение полимеров*. Наука.
- Беспалов, А. С., Бузник, В. М., Гращенков, Д. В., Никитин, Л. Н., Иванов, В. К., Лебедь, В. О., & Чашин, И. С. (2016). Гидрофобизация пористых керамических материалов с применением диоксида углерода. *Неорганические материалы*, 52(4), 431-437.
- Джейл, Т. Х. (1968). *Полимерные монокристаллы*. Химия.
- Кабат, О. С., Харченко, Б. Г., Деркач, А. Д., Артемчук, В. В., & Бабенко, В. Г. (2019). Полимерные композиционные материалы на основе фторопласта и метод их получения. *Вопросы химии и химической технологии*, 3, 116-122. <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2019-124-3-116-122>
- Каблов, Е. Н. (2016). Из чего сделать будущее? Материалы нового поколения, технологии их создания и переработки – основа инноваций. *Крылья Родины*, 5, 8-18.
- Каблов, Е. Н. (2016). Материалы нового поколения – основа инноваций, технологического лидерства и национальной безопасности России. *Интеллект & Технологии*, 14, 41-46.
- Каблов, Е. Н., Чурсова, Л. В., Бабин, А. Н., Мухаметов, Р. Р., & Панина, Н. Н. (2016). Разработки ФГУП «ВИАМ» в области расплавных связующих для полимерных композиционных материалов. *Полимерные Материалы и Технологии*, 2(2), 37-42.
- Коршак, В. В. (1969). *Термостойкие полимеры*. Наука.
- Макарова, В. С. (1998). *Защита деталей оборудования хлебопекарного и кондитерского производства антиадгезионными покрытиями на основе фторопласта – 4МБ* [Автореф. дис. канд. техн. наук]. Московский государственный университет пищевых производств.
- Мухаметов, Р. Р., Петрова, А. П., & Пономаренко, С. А. (2018). Антиадгезионные покрытия и их свойства. *Труды ВИАМ*, 12(72), <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2018-0-12-88-96>
- Нефедов, Н. И., Хасков, М. А., Петрова, А. П., Бузник, В. М. (2017). Исследование термических свойств фторпарафинов и гидрофобных покрытий на их основе. *Труды ВИАМ*, 2(50), 11.
- Кулезнева, В.Н., & Гусева, В. К. (Ред.). (1995). *Основы технологии переработки пластмасс*. Химия.
- Симонов-Емельянов, И. Д. (2005). Принципы создания и переработки полимерных композиционных материалов дисперсной структуры. *Пластические Массы*, 1, 11-16.
- Слонимский, Г. Л. и др. (1967). *Высокомолекулярные соединения*. Наука.
- Соголова, Т. И. (1970). *Успехи физики и химии полимеров*. Химия.
- Anan'ev, V. V., Gubanova, M. I., Semenov, G. V. (2008). Methodology of development and estimation of quality of heat-resistant antiadhesive coatings on the basis of fusible fluoroplastics for food industry. *Journal of Applied Polymer Science*, 15, 109(2), 1072-1075.
- Bernede, J. C. (1992). Materials for ciasable optical disks. *Materials Chemistry and Physics*, 32(2), 189-195.
- Deposition of powder paint materials (1998). *Powder Coatings (a supplement from PPCJ a Product Finishing)*. Science.
- Wall, L. A. (1972). *Fluoropolymers*, Polymer Chemistry. John Wiley and Sons. Inc.
- Encyclopedia of Polymer Science and Technology*. (1970). Interscience Publishers.
- Harris, S. (1995). Advance in development of powder paints. *Polymer Paint Colour Journal*, 185(4367), 16-17.
- Judin, V. P. S. (1992). Resent advances in TiO₂ – based speciality pigments. *Polymer Paint Colour Journal*, 182(4312), 88-91.
- Kabat, O., Sytar, V., & Sukhyy, K. (2018). Antifrictional polymer composites based on aromatic polyamide and carbon black. *Chemistry & Chemical Technology*,

- 12(3), 326-330. <https://doi.org/10.23939/chcht12.03.326>
- Thometzec, P. (1997). Powder coatings: Interplay between inorganic pigments and film-forming compounds. *European Coating Journal*, 3, 369-378.
- Vincentz Verlag Curt, R. (1999). The future of powder paints. *Polymers Paint Colour Journal*, 189(4420), 38-40.
- Wang, H., Barrett, M., Duane, B., Gu, J., & Zenhausem F. (2018). Materials and processing of polymer-based electrochromic devices. *Materials Science and Engineering*, B(228), 167-174.

Development of Anti-Adhesive Fluoroplastic Coatings for Food Technologies

Marina I. Gubanova, Irina A. Kirsh, Olga A. Bannikova, Olga V. Beznaeva

Moscow State University of Food Production

Correspondence concerning this article should be addressed to Marina I. Gubanova, SensoriLab JSC, ap. № 1474, bld. 1, 42, Bolshoy Blv, Ter. Skolkovo Innovation Center, Moscow, 121205, Russian Federation. E-mail: m_guban@rambler.ru

The article deals with the actual issue of creating modified polymer compositions based on powdered fluoroplast for anti-adhesive heat-resistant coatings. Currently, the complexity of creating food-grade separation coatings is due to the limited choice of polymer materials suitable for coatings that contact with food, which have high temperature resistance, as well as low surface energy, responsible for the level of adhesive interaction with food media. Scanning electron microscopy and IR spectroscopy methods were used to study the complex of structural characteristics. Investigated as cross-sections and surface coatings, which allowed us to establish that the reason for the improved mechanical characteristics of the modified coating is uniformly distributed over the volume, leading to homogenization of the structure, forming a smooth surface coatings and defect-free interface “metal-coating”. It is shown that the introduction of small amounts of some modifying additives from 0.05 to 1-2 wt. parts per 100 parts of fluoroplast-4MB can significantly improve the strength and adhesion characteristics of coatings.

Keywords: anti-adhesive coatings, fluoroplastics, modification, polymer compositions

Acknowledgements

Authors are grateful for the assistance in conducting research Frumkin Institute of Physical chemistry and Electrochemistry Russian academy of sciences (IPCE RAS).

References

- Anan'ev, V. V., Gubanova, M. I., Semenov, G. V. (2008). Methodology of development and estimation of quality of heat-resistant antiadhesive coatings on the basis of fusible fluoroplastics for food industry. *Journal of Applied Polymer Science*, JUL 15, 109(2), 1072-1075.
- Bernede, J. C. (1992). Materials for ciasable optical disks. *Materials Chemistry and Physics*, 32(2), 189-195.
- Deposition of powder paint materials (1998). *Powder Coatings (a supplement from PPCJ a Product Tin ishing)*. January.
- Edited by L. A. Wall (1972). *Fluoropolymers, Polymer Chemistry*. Section National Bureau of Standards, A Division of John Wiley and Sons. Inc., New York – London – Sydney – Toronto, 232.
- Encyclopedia of Polymer Science and Technology* (1970). New York – London, 13.
- Harris, S. (1995). Advance in development of powder paints. *Polymer Paint Colour Journal*, 185(4367), 16-17.
- Judin, V. P. S. (1992). Resent advances in TiO₂ – based speciality pigments. *Polymer Paint Colour Journal*, 182(4312), 88-91.
- Kabat, O., Sytar, V., Sukhyi, K. (2018). Antifrictional polymer composites based on aromatic polyamide and carbon black. *Chemistry & Chemical Technology*, 12, 326-330.
- Thometzec, P. (1997). Powder coatings: interplay between inorganic pigments and film-forming compounds. *European Coating Journal*, 3, 369-378.
- Vincentz Verlag Curt, R. (1999). The future of powder paints. *Polymers Paint Colour Journal*, 189(4420), 38-40.
- Wang, H., Barrett, M., Duane, B., Gu, J., Zenhausem F. (2018). Materials and processing of polymer-based electrochromic devices. *Materials Science and Engineering, B*(228), 167-174.
- Babin, A. N., & Guseva, M. A. (2016). Ispolzovanie realogicheskogo metoda dlya issledovaniya osobennostey rastvorimosti komponentov v polimernom svyazuyuschem. [Using the rheological method to study the features of

- solubility of components in a polymer binder]. Proceedings of VIAM, 6(42), 05. <http://www.viam-works.ru> (accessed: 25.10.2018) doi: 10.18577/2307-6046-2016-0-6-5-5
- Bely, V. A., Sviridenok, A. I., Petrovich M. I., Savkin, V. G. (1972). *Trenie polimerov [Friction of polymers]*. Nauka.
- Bespalov, A. S., Buznik, V. M., Grashchenkov, D. V., and others (2016). Hydrophobization of porous ceramic materials using carbon dioxide. *Neorganicheskie materialy [Inorganic material]*, 52(4), 431-437.
- Jale, T. H. (1968). *Polimernye monokristally [Polymer single crystals]*. Chemistry.
- Kabat, O. S., Kharchenko, B. G., Derkach, A.D., Artemchuk, V. V., & Babenko, V. G. (2019). Polymer composite materials based on fluoroplast and method of their production. *Voprosy himii i himicheskoy tekhnologii [Questions of Chemistry and Chemical Technology]*, 3, 116-122. <https://doi.org/10.32434/0321-4095-2019-124-3-116-122>
- Kablov, E. N. (2016). What to make the future out of? New generation materials, technologies for their creation and processing are the basis of innovation. *Kryl'ya Rodiny [Wings Of The Motherland]*, 5, 8-18.
- Kablov, E. N. (2016). New-generation materials are the Foundation of innovation, technological leadership, and national security in Russia. *Intellekt & Tekhnologii [Intelligence & Technology]*, 14, 41-46.
- Kablov, E. N., Chursova, L. V., Babin, A. N., Mukhametov, R. R., Panina, N. N. (2016). Development of FSUE "VIAM" in the field of molten binders for polymer composite materials. *Polimernye Materialy i Tekhnologii [Polymer Materials and Technologies]*, 2(2), 37-42.
- Korshak, V. V. (1969). *Termostoykie polimery. [Heat-resistant polymers]*. Nauka.
- Makarova, V.S. (1998). *Zaschita detaley oborudovaniya hlebopekarnogo i konditerskogo proizvodstva antiadgezionnymi pokrytiyami na osnove ftoroplasta - 4 mb.* [Protection of equipment parts of bakery and confectionery production with anti-adhesive coatings based on fluoroplast-4MB [author's abstract of the Cand. tech. science, MGUPP]. Moscow, Russia.
- Mukhametov, R. R., Petrova, A. P., & Ponomarenko, S. A. (2018). Anti-adhesive coatings and their properties. *Trudy VIAM [Proceedings of VIAM]*, 12(72), 10. <https://doi.org/10.18577/2307-6046-2018-0-12-88-96>
- Nefedov, N. I., Haskov, M. A., Petrova, A. P., Buznik, V. M. (2017). Research of thermal properties of fluoro-paraffins and hydrophobic coatings based on them. *Trudy VIAM [Proceedings of VIAM]*, 2(50), 11.
- Selezneva, V. N., & Gusev, V. K. (Ed.). (1995). *Osnovy tekhnologii pererabotki plastmass [Fundamentals of plastics processing technology]*. Chemistry.
- Simonov-Yemelyanov, I. D. (2005). Principles of creation and processing of polymer composite materials of dispersed structure. *Plasticheskie Massy [Plastic Masses]*, 1, 11-16.
- Slonimsky, G. L. and others (1967). *Vysokomolekulyarnye soedineniya, [High-molecular compounds]*. Nauka.
- Sokolova, T. I. (1970). *Uspehi fiziki i himii polimerov [Advances in polymer physics and chemistry]*. Chemistry.

Обнаружение частиц микропластика в растительных маслах

Корнилов Кирилл Николаевич, Роева Наталья Николаевна

ФГБОУ ВО "Московский государственный университет пищевых производств"

Корреспонденция, касающаяся этой статьи, должна быть адресована Корнилову К.Н., ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», адрес: 125080, город Москва, Волоколамское шоссе, дом 11. E-mail: kirillkorn1982@gmail.com

Наличие микро и нано частиц пластика в пищевых продуктах в настоящее время является актуальнейшей проблемой пищевой промышленности и одним из главных вопросов пищевой безопасности. При этом не существует ни чётких методик по определению таких частиц, ни способов очистки от них пищевых продуктов.

В связи с тем, что вопрос о переработке пластика до сих пор не решён, а разлагающиеся пластиковые объекты находятся повсюду вокруг, крайне актуальным является изучение вопроса о наличии микроскопических частиц пластмасс (микропластика) в пищевых продуктах, об их размерах и количестве. В представленной работе впервые методом Динамического Лазерного Светорассеивания с помощью анализатора наночастиц «Zetatracs» было определено присутствие в некоторых растительных маслах микро и нано объектов, по своим характеристикам похожих на пластик. Определено распределение этих частиц по фракциям, их удельная поверхность и дзета потенциал. Было подсчитано содержание микро и нано частиц, идентифицированных, как пластик, в растительном масле. Оно колеблется от 2,5 до 9 миллиардов на один литр пищевого продукта. Высказано предположение, что возможной причиной наличия таких частиц в этом виде пищевых продуктов является то, что может происходить их экстракция из медленно разрушающейся пластиковой тары. Величина дзета потенциала, подсчитанная прибором на основании данных о движении частиц, находится в области от 20 до 30 мВ. Это значит, что микрочастицы в суспензии устойчивы и не склонны к коагуляции. Таким образом, самоочищение от них невозможно.

Ключевые слова: растительное масло, наночастицы, микропластик

Введение

В настоящее время вопросы безопасности пищевых продуктов встают на первое место в пищевой промышленности. Ни для кого не секрет, что окружающая среда за три последних десятилетия была загрязнена медленно разлагающимися объектами из полимерных материалов (пластика). Огромное количество изделий из полиэтилена (ПЭ), полипропилена (ПП), полиэтилентерефталата (ПЭТФ) и других подобных полимеров выбрасывается людьми каждый день. Указанные вещества широко используются не только для создания упаковки и тары для пищевых продуктов, но из них также изготавливают одноразовую посуду, пакеты, игрушки, коктейльные трубки и другие бытовые изделия. Будучи выброшенными после использования, они медленно разлагаются в окружающей среде, образуя микроскопические частицы, которые могут попадать в воду (Sighicelli et al, 2018), почву, организмы животных (Al-Jaibachi, Cuthbert & Callaghan,

2018) и птиц (Wagner & Lambert, 2018), а значит – и в пищевые продукты (Hernandez et al, 2019).

В представленной работе нами было впервые проведено исследование содержания частиц микропластика в некоторых растительных маслах. Связано это с тем, что растительные масла, будучи неполярными растворителями, могут поглощать микроскопические частицы пластика из тары, в которой находятся. Сам микропластик по химической природе также является неполярным соединением. Таким образом целью нашей работы было ответить на вопрос: может ли оказаться так, что растительные масла содержат огромное количество пластиковых микро и нано частиц.

Литературный обзор

Общеизвестным фактом является то, что окружающая среда сегодня настолько сильно загрязнена

микропластиком, что его частицы добрались и до пищевых продуктов, а значит - и до нашего стола (Mason, Welch and Neratko, 2018). Заметим, что микропластиком (Micro Plastic, MP) обычно называют частицы размером менее 5 мкм (Imhof, Ivleva, Schmid, Niessner & Laforsch, 2013).

Как мы уже сообщали ранее (Корнилов и Роева, 2019), исследователи из Венского медицинского университета нашли этому чёткое доказательство. Они проверили на предмет наличия пластика биологические жидкости у восьми человек из восьми стран и у всех нашли крохотные пластмассовые частицы, количество которых в среднем составляло 20 объектов на 10 грамм пробы. По химическому составу наиболее часто встречающимися оказались частицы из полипропилена и полиэтилентерефталата, из которых делают очень много всего, включая пластиковые бутылки. Свои результаты авторы работы доложили на конференции Европейского общества гастроэнтерологов (Schwabl et al., 2018).

Переходят ли пластиковые частицы из кишечника в другие органы и как они сказываются на нашем здоровье, пока не очень понятно, хотя можно предположить, что исследований на ту тему в скором времени появится более чем достаточно. Текущие наблюдения за животными говорят о том, что пластик может оказывать на них вполне чёткое негативное влияние (Lönnstedt and Eklöv, 2016). При этом Всемирная Организация Здравоохранения не спешит делать какие-либо выводы о точно подтверждённом вреде микропластика, однако признаёт, что его влияние на человека и животных ещё слишком мало изучено (World Health Organization, 2019)¹. Однако с тем фактом, что его частицы проникли во все исследованные образцы питьевой воды (Koelmans et al., 2019), а существующие методы очистки удаляют эти частицы только на 90% (Hermesen E, et al., 2018) согласны и в этой авторитетной организации.

Тем не менее производство пластика в настоящее время постоянно увеличивается и достигло уже 300 мегатонн в год (Ericson et al., 2014).

Интересно заметить, что в настоящее время существует уже большое количество работ по обнаружению микропластика в питьевой воде. Однако вопросом исследования растительных масел на наличие этого вида загрязнения до сих пор никто не занимался.

Обращает на себя внимание так же тот факт, что в основном в процитированных нами работах авторы исследуют именно частицы микропластика, ничего не говоря об объектах меньшего размера – нано частицах. Однако имеющийся у нас прибор «Zetatracs» позволяет обнаруживать не только микропластик, но и нано пластик в любых жидких пищевых продуктах.

Теоретическое обоснование

Исследование содержания частиц микропластика было проведено нами самым удобным методом для проверки наличия или отсутствия тех или иных ультра-микроскопических или нано объектов в смесях: методом Лазерного Динамического Светорассеивания (ЛДСР или Dynamic Lazer Light Scattering – DLS), позволяющим оптически измерять размер частиц, находящихся в состоянии Броуновского движения (Pike & Abbiss, 1997).

Метод ЛДСР и прибор «Zetatracs» уже применялся нами ранее и для анализа содержания наночастиц в синтетическом алкогольном напитке «Jaguar» (Юсубов, 2019) и даже в составе косметических кремов (Соринская и Корнилов, 2019). Указанным методом был также измерен размер микроскопических частиц мякоти в соках (Корнилов, Шатровский, Роева & Мокеев, 2020).

Впервые наночастицы, являющиеся, предположительно, по химическому составу фрагментами пластика, были обнаружены нами в некоторых сильногазированных напитках (Корнилов, Шатровский и Анисимов, 2020) и в водопроводной воде (Корнилов & Роева, 2019).

Все результаты определения наночастиц методом ЛДСР получены и обработаны на анализаторе наночастиц «Zetetracs» в лаборатории кафедры Химии и экотоксикологии Московского государственного университета пищевых производств, при помощи программного обеспечения «Microtrac Flex. На каждом исследуемом образце проводилось по три измерения, которые затем обрабатывались программой, управляющей анализатором Microtrac FLEX.

Используемый нами прибор позволяет избавиться от влияния фоновых частиц любых размеров, которые потенциально могут находиться в водопроводной воде, путём исключения их влияния на

¹ Microplastics in drinking-water (2019). World Health Organization. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/326499/9789241516198-eng.pdf?ua=1>

итоговое светорассеивание функцией «Set Zero» – установкой на ноль фоновых значений. То есть перед проведением измерений растворов крахмала определялось наличие каких-либо частиц в чистом растворителе, после чего данные по растворителю вычитались из данных исследуемых проб.

Рабочее время, в течение которого прибором происходил сбор данных (Run Time), составлял 30 секунд. Количество измерения проб (Number of Runs) для достижения достоверного результата равнялось трём.

Средняя молекулярная масса частиц измерялась методом Дебая, основываясь на данных о гидродинамическом радиусе частиц, полученных тем же методом светорассеяния (Plantz, 2011).

При проведении измерений проба исследуемого раствора помещалась в кювету прибора объёмом 2 мл, после чего включался лазер и запускалась программа обработки результатов.

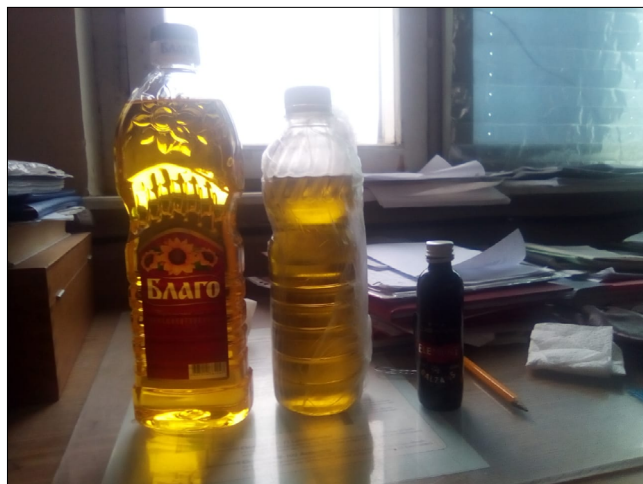
Необходимо отметить, что представленным методом определяются только размеры частиц сферической формы.

Прибор Zetatracs позволял нам также определять величину дзета потенциала обнаруженных частиц и на основании этой величины делать вывод об их устойчивости (Lyklema, 2005, pp. 35-47).

Исследование

В продолжение указанных выше работ мы провели исследование наличия микропластика в трёх видах растительных масел (Рисунок 1):

Рисунок 1
Объекты исследования



1. Нерафинированное подсолнечное «Благо» ($\rho = 0,918$ г/мл, показатель преломления $n = 1,4741$);
2. Нерафинированное подсолнечное «Золотая семечка» ($\rho = 0,918$ г/мл, $n = 1,4456$);
3. Нерафинированное оливковое ($\rho = 0,914$ г/мл, $n = 1,4710$).

Показатели преломления растительных масел лежат в области 1,46-1,47, что не позволяет определять микропластик непосредственно в их среде, т.к. показатель преломления самих микрочастиц пластика находится в близкой области 1,50-1,58 (Freud, 2011). Есть данные о том, что по химическому составу все проанализированные образцы микропластика состоят из полиэтилена (45%), полистирола (18%) и полипропилена (15%) (Sighicelli et al, 2018).

Показатель преломления всех этих полимеров лежит именно в указанной области. В связи с этим для проведения анализа нами предварительно готовился раствор масел в неполярном растворителе – гексане ($n = 1,38$, $\rho = 0,655$ г/мл). Концентрация растворов была выбрана оптимальной: 10%. Все образцы масел при этом образовывали в гексане истинный раствор, а не эмульсию.

Результаты и их обсуждение

Во всех трёх исследованных образцах были обнаружены частицы, по своим характеристикам сходные с микропластиком (Рисунок 2):

Из Рисунка 2 видно, что обнаруженные микрочастицы лежат в области от 344 до 6540 нм. Самые крупные объекты превосходят самые мелкие в 19 раз. Они распределены по двум близким фракциям: 1017 нм (32%) и 1794 нм (68%). Наночастиц (объектов менее 100 нм) не обнаружено.

Медианный диаметр частиц d_m , согласно данным анализа, равен 1633 нм. Это значит, ровно половина частиц в суспензии меньше этой величины и ровно половина – больше её.

Среднечисловой диаметр d_n равен 1181 нм.

Самыми распространёнными в суспензии являются частицы с $d_c = 1944$ нм (28% от всех частиц).

Средневесовой диаметр d_v равен 2112 нм.

Средняя молярная масса частицы, посчитанная прибором на основании данных ЛДСР, $M = 183 \cdot 10^{10}$ г/моль.

По формуле $M = \rho \cdot N_A \cdot (\pi/6) \cdot d^3$ можно найти плотность наночастиц. Целесообразнее всего для расчетов по этой формуле использовать средневесовой диаметр d_v , т.к. вклад самых крупных частиц в молярную массу максимальный. Тогда плотность будет равна $\rho = 0,62 \text{ г/см}^3$. Это меньше, чем плотность обычного полипропилена (ПП) в $0,95 \text{ г/см}^3$, полиэтилена (ПЭ) в $0,91\text{-}0,96 \text{ г/см}^3$ или полиэтилентерефталата (ПЭТ) в $1,38 \text{ г/см}^3$ (Speight, 2005).

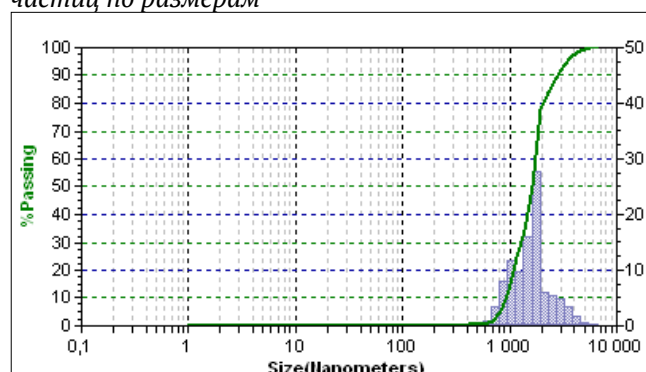
Средняя удельная поверхность наночастиц в этом случае $S = 5,6 \text{ м}^2/\text{г}$.

Дзета-потенциал ξ частиц в гексане равен 27,5 мВ. То есть частицы в водной среде стабильны и не стремятся к коагуляции (Hunter, 1989, pp. 75-81). Средний заряд наночастицы положительный.

Микроскопические частицы обнаружены нами и

Рисунок 2

Результаты определения микропластика в образце масла №1: а) гистограмма, б) таблица распределения частиц по размерам



(а)

(б)

Таблица 1

Результаты исследования растительных масел методом ЛДСР

Масло	dM, нм	dN, нм	dC, нм	dV, нм	M, г/моль	ρ , г/см ³	S, м ² /г	ζ , мВ	C, % по объёму
«Благо»	1633	1181	1944 (28%)	2112	$183 \cdot 10^{10}$	0,62	5,6	27,5	$4,5 \cdot 10^{-4}$
«Золотая семечка»	5680	5350	6540 (62%)	5610	$5990 \cdot 10^{10}$	1,08	1,0	29,7	$24 \cdot 10^{-4}$
оливковое	1822	103 (1 фракция) + 2576	102 (12%)	3380	$1470 \cdot 10^{10}$	1,21	2,5	-66,0	$1,7 \cdot 10^{-4}$

Таблица 2

Концентрации наночастиц, обнаруженных в растительных маслах

Объект	d_v , нм	$V_{\text{частицы}}$, (мкм ³)	$m_{\text{частицы}}$, (г)	Содержание частиц, г/л	Число частиц в литре
«Благо»	2112	4,9	$3,0 \cdot 10^{-12}$	$28 \cdot 10^{-3}$	$9,3 \cdot 10^9$
«Золотая семечка»	5680	95,9	$103,6 \cdot 10^{-12}$	$259 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^9$
оливковое	1822	3,2	$3,9 \cdot 10^{-12}$	$2,1 \cdot 10^{-3}$	$5,3 \cdot 10^9$

во втором образце масла (Рисунок 3):

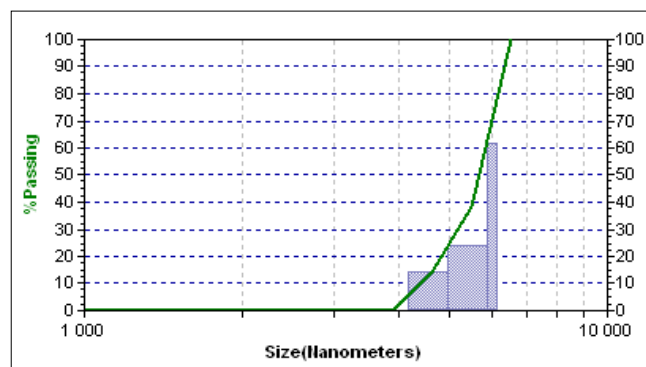
Из Рисунка 3 видно, что в данном случае обнаружены микрочастицы всего трёх видов, от 4260 до 6540 нм. Все прочие параметры частиц указаны в Таблице 1.

Совершенно другая картина получается при анализе оливкового масла (Рисунок 4).

В данном случае в растворе обнаружены истинные наночастицы размером менее 100 нм общим числом в 2,6% от всех частиц. Кроме того, все детектированные объекты разделены на две не соприкасающиеся фракции: до 172 нм (33%) и от 1156 до 4560 нм. Более крупно дисперсные частицы также разделены на две фракции: с центром в 1654 и 3690 нм. Все прочие параметры частиц указаны в Таблице 2.

Рисунок 3

Результаты определения микропластика в образце масла №2: а) гистограмма, б) таблица распределения частиц по размерам



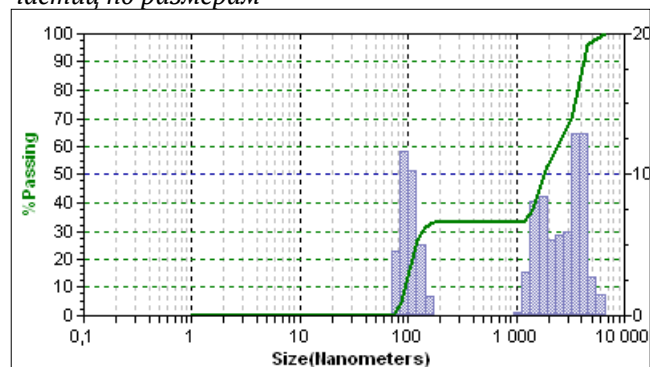
(а)

Size (nm)	%Chan
6540	61,51
5500	24,09
4620	14,40

(б)

Рисунок 4

Результаты определения микропластика в образце масла №3: а) гистограмма, б) таблица распределения частиц по размерам



(а)

Size (nm)	%Chan	Size (nm)	%Chan
2312	5,37	486,0	0,00
1944	8,45	409,0	0,00
1635	8,15	289,0	0,00
1375	3,09	243,0	0,00
1156	0,21	204,4	0,00
972,0	0,00	171,9	1,41
818,0	0,00	144,5	5,03
687,0	0,00	144,5	5,03
578,0	0,00	102,2	116,64

(б)

Теперь необходимо подсчитать содержание обнаруженных нано и микро объектов в граммах и в частицах на литр (учитывая, что исследованию подвергался 10% раствор, а не само масло):

Очень интересным является сравнение полученных результатов с той картиной, которую мы получили ранее (Корнилов и Роева, 2019) при исследовании микропластика в водопроводной воде (Рисунок 5).

Рисунок 5а чётко показывает наличие множества фракций микроскопических частиц в воде. При этом некоторые из них (меньше 100 нм) являются истинными нано частицами. Так же видно присутствие 4 главных фракций: с центром в 85, 365, 1562 и 3460 нм. Медианный диаметр частиц d_m равен 248 нм. Среднечисловой диаметр d_n равен 92 нм. Самыми распространёнными в суспензии являются частицы с $d_c = 86$ нм (13% от всех частиц). Средневесовой диаметр d_v равен 2383 нм. Средняя молярная масса наночастицы, $M = 366 \cdot 10^{10}$ г/моль.

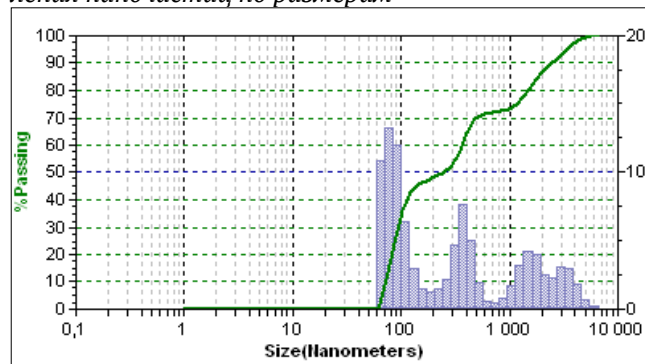
Плотность частиц равна $\rho = 0,86$ г/см³. Средняя удельная поверхность наночастиц в этом случае $S = 9$ м²/г. Дзета потенциал 11 мВ.

Интересно заметить, что многие характеристики частиц, обнаруженных и в воде, и в маслах, близки между собой. Мало того, имеются совершенно одинаковые по размерам частицы, которые присутствуют как в водопроводной воде, так и в маслах:

- 102 нм: 12% (2 место) в воде и 12% (1 место) в масле №3;
- 122 нм: 6,5% (4 место) в воде и 10% (2 место) в масле №3;
- 145 нм: 3% в воде и 5% в масле №3;
- 499 нм: 8% в воде и 0.4% в масле №1;
- 1944 нм: 4% в воде, 8,5% (3 место) в масле №3 и 28% (1 место) в масле №1;
- 1375 нм: 3% в воде, 3% в масле №3 и 10% (3 место) в масле №1;
- 1635 нм: 4% в воде, 8% (4 место) в масле №3 и 16% (2 место) в масле №1;

Рисунок 5

Результаты определения размера наночастиц в водопроводной воде: а) гистограмма, б) таблица распределения наночастиц по размерам



(а)

Size (nm)	%Chan	Size (nm)	%Chan
1944	4,04	1944	4,04
1635	4,23	1635	4,23
1375	3,20	1375	3,20
1156	1,74	1156	1,74
972,0	0,75	972,0	0,75
818,0	0,51	818,0	0,51
687,0	0,60	687,0	0,60
578,0	1,97	578,0	1,97
486,0	5,03	486,0	5,03

(б)

8. 4620 нм: 14% (3 место) в масле №2, 2% в масле №1;
9. 5500: 24% (2 место) в масле №2, 0.7% в масле №1;
10. 6540: 68% (1 место) в масле №2, 0.3% в масле №1 – то есть в разных маслах тоже обнаруживаются одинаковые микропластики.

Так же полученные нами данные во много совпадают с результатом исследования выделения пластиковых наночастиц чайными пакетиками при заваривании (Hernandez et al, 2019). Авторы указанной работы так же подсчитали количество нано и микропластиков, и оно составляло величину, подобную нашей: от 3 до 12 миллиардов объектов из одного чайного пакетика, величиной от 100 нм до 6 мкм. Таким образом, найденные в других работах частицы микропластика по своим характеристикам полностью идентичны обнаруженным нами.

Выводы

1. Впервые с помощью лазерного анализатора наночастиц «Zetatrac» определено наличие взвешенных микро и нано частиц в некоторых растительных маслах.
2. И в образцах подсолнечного, и в оливковом масле обнаружены микропластики, по своим характеристикам похожие на пластик.
3. Установлено распределение найденных нано частиц по фракциям, рассчитаны их средняя масса, плотность и удельная поверхность. Размер обнаруженных объектов находится в области от 100 нм до 6.5 мкм.
4. Определены электрокинетические параметры микропластиков, в частности, их дзета потенциал. Его величина в 20-30 мВ указывает на то, что

частицы в суспензии стабильны и не склонны к коагуляции.

5. Вычислено содержание микропластиков в растительных маслах. Оно составляет от 2.5 до 9 миллиардов частиц на 1 л масла.

Литература

- Корнилов, К. Н., Роева, Н. Н., Шатровский, Е. И., & Мокеев, В. И. (2020). Определение содержания взвешенных микропластиков во фруктовых соках методом лазерного Динамического Светорассеивания. В *Достижения вузовской науки 2020* (с. 9-14).
- Корнилов, К. Н., Шатровский, Е. И., & Анисимов, Е. В. (2020). Определение содержания наночастиц пластика в безалкогольных напитках методом лазерного динамического светорассеивания. В *Студенческие научные достижения. Наука и просвещение* (с. 9-14).
- Корнилов, К., & Роева, Н. Н. (2019). Определение содержания наночастиц пластика в питьевой воде и жидких пищевых продуктах. *Здоровье, Питание и Биотехнологии*, 1(2). <https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i2.s242>
- Соринская, Е. А., & Корнилов, К. Н. (2019). Обнаружение липосом в компонентах для косметических кремов методом лазерного динамического светорассеивания. В *Лучшая научно-исследовательская работа 2019 года* (с. 21-25). Наука и просвещение.
- Юсубов, Ю. (2019). Результаты исследования синтетического алкогольного напитка Jaguar методом лазерного динамического светорассеивания. В *Лучшая научная статья 2019 года* (с. 31-34). Наука и просвещение.
- Al-Jaibachi, R., Cuthbert, R. N., & Callaghan, A. (2018).

- Up and away: Ontogenic transference as a pathway for aerial dispersal of microplastics. *Biology Letters*, 14(4), 1-4. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0479>
- Freud, P. J. (2011). *Nanoparticle sizing: Dynamic light scattering analysis in the frequency spectrum mode. application note*. Microtrac Inc. Particle Size Measuring Instrumentation.
- Hernandez, L. M., Genbo Xu, Hans, C. E., Larsson, R. T., Vimal B., & Maisuria N. T. Plastic Teabags release billions of microparticles and nanoparticles into tea. *Environmental Science Technology*, 53(21), 12300-12310. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.9b02540>
- Lönnstedt, O. M., & Eklöv, P. (2016). Environmentally relevant concentrations of microplastic particles influence larval fish ecology. *Science*, 352(6290), 1213-1216. <https://science.sciencemag.org/content/352/6290/1213.abstract>
- Mason, S., Welch, V., Neratko, J. (2018). *Synthetic polymer contamination in bottled water*. Fredonia State University. <https://dx.doi.org/10.3389%2Ffchem.2018.00407>
- Pike, E. R., & Abbiss, J. B. (1997). *Light scattering and photon correlation spectroscopy*. Kluwer Academic Publishers. <https://www.springer.com/gp/book/9780792347361>
- Plantz, P. E. (2011). *Explanation of data reported by Microtrac Instruments*. Microtrac Inc. <https://www.microtrac.com/downloads/application-reports/>
- Sighicelli, M., Lietrelli, L., Lecce, F., Iannilli, V., Falconieri, M., Coscia, L., Di Vito, S., Nuglio, S., & Zampetti, G. (2018). Microplastic pollution in the surface waters of Italian subalpine lakes. *Environmental Pollution*, 236, 645 – 651. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29433105>
- Speight, J. G., Lange, N. A. (2005). *Lange's handbook of chemistry* (ed. 16, pp. 2758–2785). McGraw-Hill. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071432207>

Detection of Microplastic Particles in Vegetable Oils

Kirill N. Kornilov, Natalia N. Roeva

Moscow State University of Food Production

Correspondence concerning this article should be addressed to Kirill N. Kornilov, Moscow State University of Food Production, 11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation. E-mail: kirillkorn1982@gmail.com

The presence of micro and nano particles of plastic in food products is currently an urgent problem of the food industry and one of the main issues of food safety. However, there are no clear methods for the determination of such particles, nor methods for cleaning food products from them.

Due to the fact that the issue of processing plastic has not yet been resolved, and decaying plastic objects are everywhere around, it is extremely important to study the question of the presence of microscopic particles of plastics (microplastics, MP) in food products, their size and quantity.

In present work for the first time was determined the presence of particles, which can be microplastic, in several vegetable oils using Dynamic Laser Light Scattering method. The size distribution of these particles, their specific surface and zeta potential were determined too. The content of microparticles in vegetable oils was calculated. It ranges from 2.5 to 9 billion particles per 1 liter of oil. It has been suggested that a possible reason for the presence of such particles in this type of food product is that they may be extracted from slowly breaking plastic containers.

The value of the zeta potential calculated by the device on the basis of data on the movement of particles is in the range from 20 to 30 mV. This means that the microparticles in suspension are stable and not prone to coagulation. Thus, self-cleaning from them is impossible.

Keywords: vegetable oils, nanoparticles, microplastic

References

- Kornilov, K. N., Royeva, N. N., Shatrovskiy, Ye. I., & Mokeyev, V.I. (2020). Determination of suspended microparticles in fruit juices using Laser Dynamic Light Scattering. In *Sbornik statyey XII Mezhdunarodnoy nauchno-issledovatel'skogo konkursa «Dostizheniya vuzovskoy nauki 2020» [Collection of articles of the XII International Research Competition "Achievements of University Science 2020"]*. Penza ICSN "Science and Education". Penza. «Nauka i prosveshcheniye», 9-14. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42376071>
- Kornilov, K. N., Shatrovskiy, Ye. I., & Anisimov, Ye. V. (2020). Determination of the content of plastic nanoparticles in soft drinks by the method of Laser Dynamic Light Scattering. In *Sbornik stat'yey VII Mezhdunarodnoy nauchno-issledovatel'skogo konkursa «Studencheskiye nauchnyye dostizheniya» [Collection of articles of the VII International Research Competition "Student Scientific Achievements"]*. Penza. «Nauka i prosveshcheniye», 9-14. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42376601>
- Kornilov, K. N., & Roeva, N. N. (2019). Determination of different nanoparticles contamination in drinking water and non alcoholic beverages. *Health, Food & Biotechnology*, 1(2). <https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i2.s242>
- Sorinskaya, E. A., & Kornilov K. N. (2019). Detection of liposomes in components for cosmetic creams by Laser Dynamic Light Scattering. In *Sbornik statyey XIX Mezhdunarodnogo nauchno-issledovatel'skogo konkursa «Luchshaya nauchnaya statya 2019 goda» [Collection of articles of the XIX International Research Competition "The Best Research Project of 2019"]*. Penza: Nauka I Prosveschenie, 21-25. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37216487>
- Yusubov, Yu. (2019). Results of a study of a synthetic alcoholic beverage Jaguar by Laser Dynamic Light Dispersion. In *Sbornik statyey XXIII Mezhdunarodnogo nauchno-issledovatel'skogo konkursa «Luchshaya nauchnaya stat'ya 2019 goda» [Collection of articles of the XXIII International Research Competition "The Best Scientific Article of 2019"]*. Penza: Nauka i Prosveschenie. 2019, 31-34. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37044737>
- Al-Jaibachi, R., Cuthbert, R. N., & Callaghan, A. (2018). Up and away: ontogenic transference as a pathway

How to Cite

Kornilov, K. N., & Roeva, N. N. (2020). Detection of Microplastic Particles in Vegetable Oils. *Health, Food & Biotechnology*, 2(1). <https://doi.org/10.36107/hfb.2020.i1.s315>

- for aerial dispersal of microplastics. *Biology letters*, 14(4), 1-4. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0479>
- Freud, P. J. (2011). *Nanoparticle Sizing: Dynamic Light Scattering Analysis in the Frequency Spectrum Mode. Application Note. Provided by: Microtrac Inc. Particle Size Measuring Instrumentation*, 54 p.
- Hernandez, L. M., Genbo Xu, Hans, C. E., Larsson, R. T., Vimal B., & Maisuria N. T. Plastic Teabags Release Billions of Microparticles and Nanoparticles into Tea. *Environ. Sci. Technol.* 2019, 53 (21), 12300-12310. <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.est.9b02540>
- Lönnstedt, O. M., & Eklöv, P. (2016). Environmentally relevant concentrations of microplastic particles influence larval fish ecology. *Science*, 352(6290), 1213-1216. <https://science.sciencemag.org/content/352/6290/1213.abstract>
- Mason, S., Welch, V., & Neratko, J. (2018). *Synthetic polymer contamination in bottled water*. New York, NY: Fredonia State University. 218 p. <https://dx.doi.org/10.3389%2Ffchem.2018.00407>
- Pike, E. R., & Abbiss, J. B. (1997). *Light Scattering and Photon Correlation Spectroscopy*. Kluwer Academic Publishers. 192 p. <https://www.springer.com/gp/book/9780792347361>
- Plantz, P.E. (2011). Explanation of Data reported be Microtrac Instruments. Provided by: Microtrac Inc. Particle Size Measuring Instrumentation. 14 p. <https://www.microtrac.com/downloads/application-reports/>
- Sighicelli, M., Lietrelli, L., Lecce, F., Iannilli, V., Falconieri, M., Coscia, L., Di Vito, S., Nuglio, S. and Zampetti, G. (2018). Microplastic pollution in the surface waters of Italian subalpine lakes. *Environ. Pollut.* 236, 645 – 651. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29433105>
- Speight, J. G., Lange, N. A. (2005). *Lange's handbook of chemistry*. Edition 16. McGraw-Hill, 2005, 2758–2785. <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071432207>

Результаты экспериментальных исследований маслоизготовителя

Мачнев Алексей Валентинович¹, Поливяный Юрий Владимирович²,
Яшин Александр Владимирович², Хорев Павел Николаевич²

¹ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

²ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет»

Корреспонденция, касающаяся этой статьи, должна быть адресована Мачневу А.В., ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», адрес: 125080, город Москва, Волоколамское шоссе, дом 11. E-mail: mav700@mail.ru

Авторами статьи приведена актуальность постановки вопроса интенсификации сбивания сливочного масла. На современном этапе производства сливочного масла актуальным для маслодельной отрасли остается вопрос сохранения традиционных технологий, позволяющих выпускать разнообразные виды масла из коровьего молока, а также применение инновационных технологий, способствующих интенсификации процесса сбивания. Важным фактором для получения качественного продукта является использование современного маслодельного оборудования, позволяющего при минимальной энергоемкости сбивания получить максимальное количество готового продукта. Авторами предлагается один из научных подходов при сбивании сливочного масла – явление «Бегущая волна». Бегущая волна, как фактор сбивания сливочного масла, образуется при вращении роторно-лопастного рабочего органа и способствует сокращению энергоемкости сбивания. Представлена методика проведения и результаты исследований по обоснованию оптимальных конструктивных и технологических параметров разработанного маслоизготовителя. Экспериментально подтверждена целесообразность установки в емкости маслоизготовителя механизма сбивания в виде горизонтально расположенного роторно-лопастного рабочего органа. Разработан экспериментальный образец маслоизготовителя периодического действия с роторно-лопастным рабочим органом и проведены лабораторные исследования, после анализа которых были выявлены оптимальные конструктивные и кинематические параметры маслоизготовителя с производительностью сбивания 13,4 кг/ч, процентом выхода сливочного масла 59,5% и потерей жира менее 0,4%: частота вращения роторно-лопастного рабочего органа $n_p = 422 \text{ мин}^{-1}$; количество лопастей роторно-лопастного рабочего органа $z_p = 3$; коэффициент заполнения емкости $\varphi_{\text{зап}} = 0,57$. Таким образом установлено, что разработанный маслоизготовитель периодического действия с роторно-лопастным рабочим органом обеспечивает эффективное сбивание сливочного масла с высоким процентом использования жира (более 99,6%) и энергоемкостью сбивания, равной 7,24 Вт·ч/кг.

Ключевые слова: маслоизготовитель, роторно-лопастной рабочий орган, сливки, сливочное масло, емкость

Введение

В результате анализа основных положений теории образования масляного зерна, предлагаемых учеными разных стран, выявлено, что они имеют в своей основе различную сущность, а иногда и противоречивость, показывая при этом более или менее стабильное представление о характерах явлений этого процесса. В исследование данного процесса значительный вклад внесли многие ученые.

Изготовление масла методом сбивания осуществляют с помощью маслоизготовителей периодического и непрерывного действия (Парфенов, 2013). В настоящее время в промышленности более широко применяются маслоизготовители периодического действия с вращающимися рабочими емкостями разнообразной формы. В таких емкостях жестко закреплены билы, основным назначением которых является интенсификация перемешивания сбиваемых сливок. Подача сливок в емкость осуществляется насосом или при создании разрежения.

Анализ существующих конструкций маслоизготовителей показывает, что сбивание сливочного масла сопровождается высокой энергоемкостью и низкой производительностью вследствие длительности процесса от получаса до двух часов (Парфенов, 2013).

В результате проведенного анализа различных конструкций маслоизготовителей от отечественных до импортных, также можно сделать вывод о том, что наиболее перспективными и производительными являются устройства с неподвижными горизонтально установленными емкостями и вращающимися рабочими органами различных конструкций (Парфенов, 2013). Их применение приводит к большей турбулизации всего объема сливок, уменьшению застойных зон и увеличению производительности. При этом наиболее перспективными являются механизмы сбивания с горизонтально расположенными лопастями, так как в процессе сбивания они обеспечивают более тщательное и интенсивное перемешивание сливок.

Необходимость увеличения производства сливочного масла в России прописана Постановлением Правительства РФ от 14 июля 2012 г. № 717 «О Государственной программе развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013 - 2020 годы» (с изменениями и дополнениями) в паспорте подпрограммы 2 «Развитие подотрасли животноводства, переработки и реализации продукции животноводства».

На современном этапе производства сливочного масла актуальным для маслодельной отрасли остается вопрос сохранения традиционных технологий, позволяющих выпускать разнообразные виды масла из коровьего молока, а также применение инновационных технологий, способствующих интенсификации процесса сбивания (Парфенов, 2014). Важным фактором для получения качественного продукта является использование современного маслодельного оборудования, позволяющего при минимальной энергоемкости сбивания получить максимальное количество готового продукта (Парфенов, 2013).

Один из научных подходов при сбивании сливочного масла – явление «Бегущая волна». Бегущая волна, как фактор сбивания сливочного масла, образуется при вращении роторно-лопастного рабо-

чего органа и способствует сокращению энергоемкости сбивания (Парфенов, 2014; Добролюбов, 2005; Добролюбов, 2003).

Цель научных исследований – интенсификация сбивания сливочного масла роторно-лопастным рабочим органом маслоизготовителя периодического действия, способствующая снижению энергоемкости сбивания сливочного масла за счет бегущей волны, образуемой роторно-лопастным рабочим органом.

Материалы и методы

В настоящее время разработаны устройства для изготовления сливочного масла различных типов конструкций: с вращающимися емкостями, не оснащенными дополнительными перемешивающими устройствами; с вращающимися емкостями, оснащенными жестко закрепленными билами; с неподвижно закрепленными емкостями и вращающимися рабочими органами (Яшин, 2018), (Oliveira, 2019), (Gutierrez, 2019), (Lisak Jakopović, 2019), (Thongruang, 2019; Banjare, 2019; Wang, 2019).

Сбивание сливочного масла на известных конструкциях маслоизготовителей периодического действия является продолжительным. Поэтому необходимо разработать такую конструкцию маслоизготовителя периодического действия, которая интенсифицирует процесс за счет бегущей волны, образуемой роторно-лопастным рабочим органом (Яшин, 2017)¹.

Разработана и обоснована конструкция маслоизготовителя периодического действия, а так же конструктивные и кинематические параметры роторно-лопастного рабочего органа маслоизготовителя периодического действия (Парфенов, 2014; Яшин, 2018).

Для интенсификации сбивания сливочного масла предлагается маслоизготовитель (рисунок 1), состоящий из цилиндрической горизонтально расположенной емкости 1. При этом емкость 1 имеет возможность поворота на 180° относительно своей оси из рабочего положения при сбивании сливочного масла в положение выгрузки и, наоборот, по направляющей 15, расположенной на раме 9 и емкости 1, между которыми размещены ролики 14. Фиксация емкости 1 в положении при сби-

¹ Парфенов, В. С., Яшин, А. В., Полывяный, Ю. В., Стригин, В. Н. (2013). Маслоизготовитель периодического действия. № 2012129083/10. Пат. 2491813 РФ, МПК А 01J15/00.

вании сливочного масла и его выгрузки производится фиксаторами 13. Механизм сбивания 4 расположен с эксцентриситетом относительно оси емкости 1 и выполнен для подачи газа в виде полого роторно-лопастного рабочего органа с отверстиями 5 (Парфенов, 2014), (Yashin, 2018).

Отношение эксцентриситета оси роторно-лопастного рабочего органа относительно оси емкости к диаметру емкости составляет $e/d_e = 0,15 \dots 0,25$, отношение диаметра ротора по делительной окружности замкнутого синусоидального профиля к диаметру емкости $d_r/d_e = 0,35 \dots 0,4$ (Парфенов, 2018), (Польвяный, 2018), (Яшин, 2018).

Для подачи газа имеется нагнетательный трубопровод 11, а для отвода избыточного газа из емкости 1 – выпускной клапан 3. Поперечное сечение роторно-лопастного рабочего органа 4 имеет замкнутый синусоидальный профиль, средней линией которого является окружность. Для снижения трудоемкости выгрузки предусмотрен выгрузной шнек 6 с равномерно уменьшающимся шагом витков по ходу выгрузки сливочного масла, что способствует доведению структуры масляного пласта до однородного состава и нормализации по влаге. Он закреплен в выгрузном канале 7 и установлен под углом. На боковой поверхности емкости, выше ее оси, установлен загрузочный люк 10, выполненный из прозрачного материала с целью визуализации

защиты маслообразования, а также подачи сливок перед сбиванием и воды перед промывкой сливочного масла (Яшин, 2019), (Яшин, 2019), (Яшин, 2019), (Igonin, 2018), (Aloisi, 2019).

Посредством устройства управления 12 и привода 8 роторно-лопастной рабочий орган 4 приводится во вращение. В нижней части емкости 1 установлен кран 16 для слива пахты. Выгрузной шнек 6 приводится во вращение от привода 2 (Польвяный, 2018).

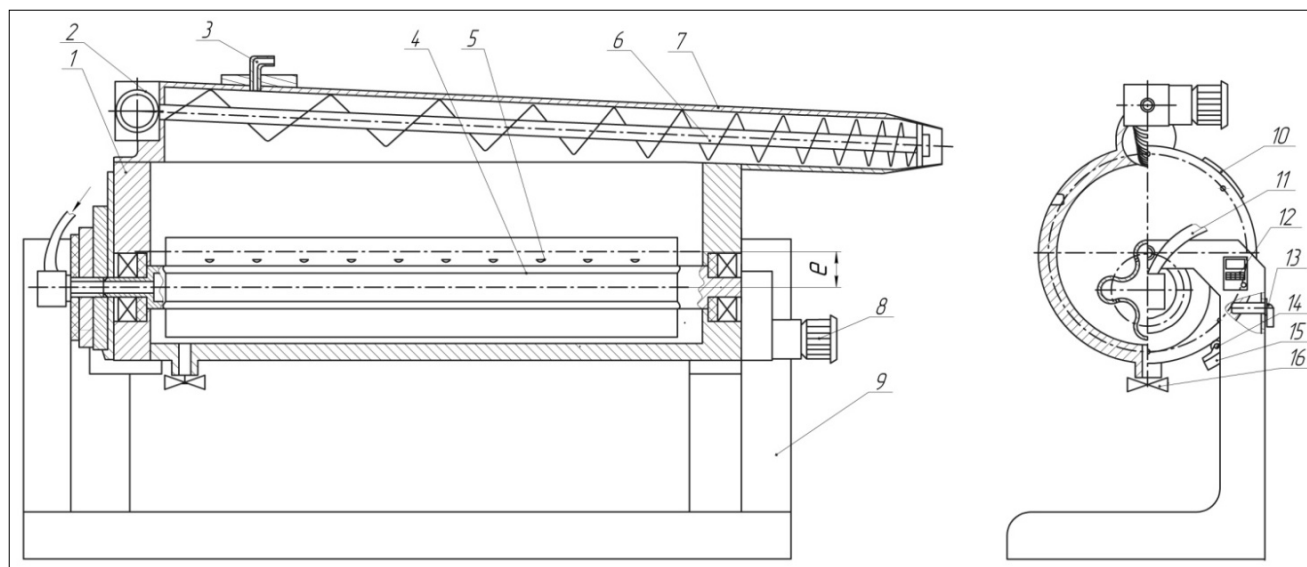
Методика исследований

Экспериментальными исследованиями, согласно поставленным задачам, предусматривалось следующее (Yashin, 2017), (Яшин, 2018), (Rylyakin, 2019), (Польвяный, 2018), (Kukharev, 2015), (Ullah, 2020).

1. Лабораторные исследования по определению основных физико – механических свойств сливок и масла.
2. Исследование разработанного маслоизготовителя периодического действия с роторно-лопастным рабочим органом в лабораторных условиях по оценке энергоемкости сбивания с определением оптимальных конструктивных и кинематических параметров.
3. Исследование экспериментального маслоизготовителя периодического действия с роторно-лопастным рабочим органом в производ-

Рисунок 1

Общий вид маслоизготовителя периодического действия: 1 – емкость; 2 – привод; 3 – клапан выпускной; 4 – роторно-лопастной рабочий орган; 5 – отверстие; 6 – шнек выгрузной; 7 – канал выгрузной; 8 – привод; 9 – рама; 10 – люк загрузочный; 11 – трубопровод нагнетательный; 12 – устройство управления; 13 – фиксатор; 14 – ролик; 15 – направляющая; 16 – кран



ственных условиях по оценке энергоемкости сбивания при оптимальных конструктивных и кинематических параметрах (Checkaev, 2019; Zhang, 2020; Nurullo, 2019).

Для проведения лабораторных исследований, предусмотренных программой, был изготовлен экспериментальный маслоизготовитель периодического действия общий вид которого представлен на рисунке 2. При проведении исследований также использовались ноутбук 1, мультиметр 2, частотный преобразователь 11, компрессор 12, закрепленные на раме 17. Экспериментальный маслоизготовитель (рисунок 2) состоит из цилиндрической горизонтально расположенной емкости 1, закрепленной на опорах 2 и роторно-лопастного рабочего органа 5, расположенного с эксцентриситетом относительно оси емкости (Полывяный, 2018).

Рисунок 2

Экспериментальный маслоизготовитель периодического действия: 1 – емкость маслоизготовителя; 2 – опоры; 3 – шланг нагнетательный; 4 – люк загрузочный; 5 – роторно-лопастной рабочий орган; 6 – зажим

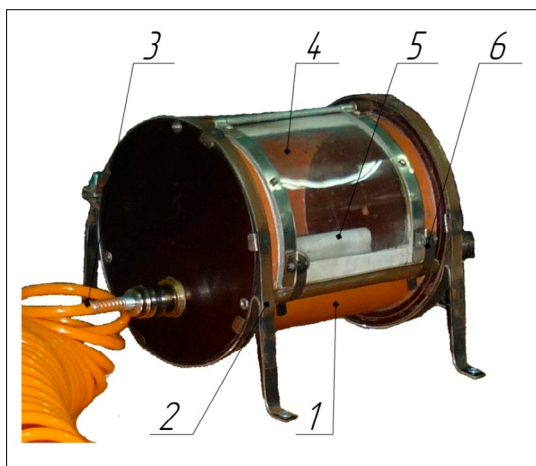
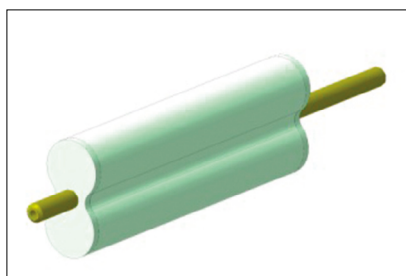


Рисунок 3

Конструкция роторно-лопастного рабочего органа: а – с двумя лопастями; б – с тремя лопастями; в – с четырьмя лопастями



(а)



(б)



(в)

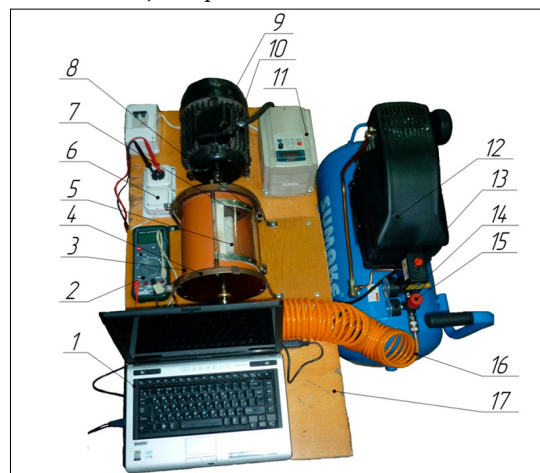
Поперечное сечение роторно-лопастного рабочего органа (рисунок 3) представляет собой замкнутый синусоидальный профиль (Полывяный, 2018).

Привод установки (рисунок 4) для исследования маслоизготовителя периодического действия осуществляется от электродвигателя 9.

Вал роторно-лопастного рабочего органа соединен с валом электродвигателя с помощью муфты 10. Частоту вращения роторно-лопастного рабочего органа при проведении экспериментальных исследований регулируют с помощью преобразователя частоты 11 (Яшин, 2019; Yashin, 2019), (Яшин, 2018; Semov, 2018; Petrov, 2018).

Рисунок 4

Экспериментальная установка для исследования маслоизготовителя периодического действия (вид сверху): 1 – ноутбук; 2 – мультиметр MAS-345; 3 – емкость маслоизготовителя; 4 – порты; 5 – роторно-лопастной рабочий орган; 6 – выключатель; 7 – люк загрузочный; 8 – зажим; 9 – электродвигатель; 10 – муфта; 11 – преобразователь частоты; 12 – компрессор Sumake; 13, 14 – манометр; 15 – регулятор давления; 16 – шланг нагнетательный; 17 – рама



В емкости установлен загрузочный люк 7, выполненный из прозрачного материала (оргстекла) с целью контроля процесса сбивания, а также подачи сливок перед сбиванием. Загрузочный люк прижимается к емкости зажимами 8. Степень заполнения емкости при сбивании составляла 40-80% исходя из того, что при заполнении рабочей емкости свыше 80% замедляется процесс сбивания сливок и увеличивается отход жира в пахту вследствие уменьшения пограничной поверхности воздух-сливки, а при заполнении емкости ниже 40% ее объема сливки разбрызгиваются роторно-лопастным рабочим органом на стенки емкости и процесс сбивания не осуществляется. Частота вращения роторно-лопастного рабочего органа была выбрана 200 мин⁻¹ и 600 мин⁻¹ исходя из того, что волновое движение сливок начинается при 200 мин⁻¹ и заканчивается на 600 мин⁻¹.

При частоте вращения свыше 600 мин⁻¹ сливки помимо волнового движения по профилю роторно-лопастного рабочего органа начинают выбрасываться его лопастями. Исходя из того, что степень сбивания и сокращение застойных зон зависит от расположения роторно-лопастного рабочего органа, эксцентриситет роторно-лопастного рабочего органа относительно центра емкости был выбран 21,5 и 43 мм соответственно (рисунок 5) (Полывяный, 2018).

Принцип работы заключается в следующем. Перед началом работы установку (рисунок 4) подключают к сети посредством выключателя 6. Через загрузочный люк 7 емкость 3 заполняют сливками на 40...80% от ее объема. После этого загрузочный люк 7 закрывают с помощью зажимов 8. Приводят

во вращение механизм сбивания 5 электродвигателем 9, устанавливая при этом с помощью преобразователя частоты 10 необходимую частоту вращения. Затем регулятором давления 15 осуществляют подачу газа от компрессора 11 по нагнетательному шлангу 16 к маслоизготовителю. Контролируют давление в компрессоре и на выходе из него манометрами 13, 14. При вращении роторно-лопастного рабочего органа 5 происходит турбулизация потока сливок. В результате воздействия лопастей образуются два фронта волны. Передняя часть волны вытесняет сливки в их основной поток, а задняя часть откачивает их, что приводит к возникновению «бегущей волны», которая заставляет двигаться слой сливок по образующей ротора. С ростом окружной скорости сливок сопротивление на их перемешивание уменьшается, а при достижении равенства окружной скорости бегущей волны и сливок оно значительно сокращается, что и приводит к уменьшению сопротивления на вращение механизма сбивания (Полывяный, 2018).

Одновременно с этим сливки подвергаются барботированию газом, что способствует интенсивному пенообразованию и ускорению процесса образования масляного зерна. По окончании процесса сбивания жировые шарики сдавливаются и соединяются оплавленными поверхностями, образуя комочки жира.

После получения масляного зерна электродвигатель 9 останавливают и производят слив пахты и выгрузку готового продукта. Отключив лабораторную установку от сети посредством выключателя 6 осуществляют ее очистку моющими средствами.

Рисунок 5

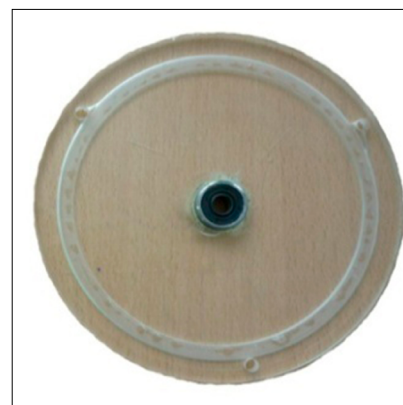
Конструкция крышек емкости: а – с эксцентриситетом 43 мм относительно емкости; б – с эксцентриситетом 21,5 мм относительно емкости; в – без эксцентриситета



(а)



(б)



(в)

Результаты

В результате проведения эксперимента были выявлены факторы, оказывающие наибольшее воздействие на сбивание сливочного масла. Такими факторами являются: частота вращения роторно-лопастного рабочего органа; коэффициент заполнения емкости; количество лопастей роторно-лопастного рабочего органа.

С целью определения уравнений регрессий и определения оптимальных значений конструктивных и кинематических параметров в основу трехфакторного эксперимента был выбран D – оптимальный план. В качестве критерия оптимизации была выбрана энергоемкость сбивания.

Факторы, влияющие на энергоемкость сбивания сливочного масла и уровни их варьирования, представлены в таблице 1. При проведении экспериментов жирность сливок была выбрана по-

стоянной и составляла 36 %, температура сливок -10°C . Уровни факторов были выбраны на основании установленной зависимости изменения мощности от частоты вращения роторно-лопастного рабочего органа на различных оборотах.

Матрица трехфакторного эксперимента приведена в таблице 2.

Используемые при сбивании сливки отвечали требованиям действующих ГОСТов.

Матрица трехфакторного эксперимента и его результаты представлены в таблице 3.

Результаты экспериментальных исследований обрабатывали модулем Multiple Regression программы Statistica 6.0.

В результате обработки экспериментальных данных получено уравнение регрессии второго по-

Таблица 1

Факторы, влияющие на энергоемкость сбивания сливочного масла и уровни их варьирования

Обозначение и наименование факторов	Уровни факторов			Интервал варьирования
	-1	0	+1	
1	2	3	4	5
$x_1 - z_n$ – количество лопастей ротора, шт	2	3	4	1
$x_2 - n_p$ – частота вращения ротора, мин ⁻¹	200	400	600	200
$x_3 - \varphi_{\text{зан}}$ – коэффициент заполнения емкости	0,4	0,6	0,8	0,2

Таблица 2

Матрица трехфакторного эксперимента

№	x_1	x_2	x_3	Y, Вт
1	1	1	1	Y_1
2	1	1	-1	Y_2
3	1	-1	1	Y_3
4	1	-1	-1	Y_4
5	-1	1	1	Y_5
6	-1	1	-1	Y_6
7	-1	-1	1	Y_7
8	-1	-1	-1	Y_8
9	1	0	0	Y_9
10	-1	0	0	Y_{10}
11	0	1	0	Y_{11}
12	0	-1	0	Y_{12}
13	0	0	1	Y_{13}
14	0	0	-1	Y_{14}
15	0	0	0	Y_{15}

Таблица 3
Матрица и результаты трехфакторного эксперимента

№	x_1	x_2	x_3	$Y, \frac{\text{Вт}\cdot\text{ч}}{\text{кг}\cdot\text{маса}}$
1	1	1	1	14,16
2	1	1	-1	11,45
3	1	-1	1	14,87
4	1	-1	-1	17,16
5	-1	1	1	16,06
6	-1	1	-1	12,2
7	-1	-1	1	15,16
8	-1	-1	-1	12,56
9	1	0	0	10,42
10	-1	0	0	13,11
11	0	1	0	10,41
12	0	-1	0	12,78
13	0	0	1	11,89
14	0	0	-1	9,53
15	0	0	0	7,36

Таблица 4
Уровни значимости факторов на энергоёмкость сбивания

	a0	a1	a2	a3	a12	a13	a23	a11	a22	a33	a1122
Estimate	7,36	-0,103	-0,825	0,924	-0,87	-0,755	0,7825	4,405	4,235	3,35	-5,148

рядка, описывающее зависимость энергоёмкости сбивания (Вт·ч/кг) от выбранных факторов $E = f(z_n, n_p, \varphi_{\text{зан}})$ в закодированном виде:

$$E = 7,36 - 0,103000x_1 - 0,825000x_2 + 0,924000x_3 - 0,870000x_1x_2 - 0,755000x_1x_3 + 0,782500x_2x_3 + 4,405x_1^2 + 4,235x_2^2 + 3,35x_3^2 - 5,148x_1^2x_2^2, \quad (1)$$

Раскодированное уравнение регрессии (1) примет вид:

$$E = 17,67 - 0,193z_n + 0,026n_p - 15,205 - 0,028z_n - 3,419z_n + 0,021n_p + 1,286z_n^2 + 0,000003n_p^2 + 18,1932 + 0,000005z_n^2n_p^2, \quad (2)$$

Обсуждение полученных результатов

Адекватность полученных уравнений регрессии (1) и (2) подтверждается множественным коэффициентом корреляции $R_k = 0,97$ и сходимостью расчетных и опытных данных F -тест = 0,968.

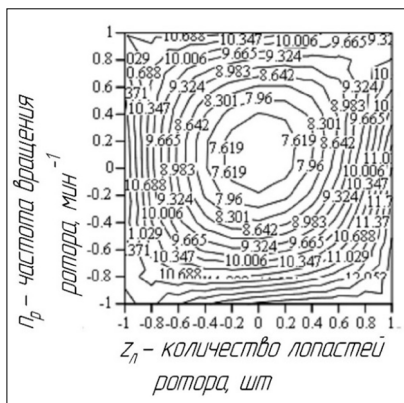
Для определения оптимальных конструктивных и кинематических параметров маслоизготовителя периодического действия с роторно-лопастным рабочим органом определяли экстремум при решении уравнения (1).

При этом оптимальные значения факторов в закодированном виде составили $x_1=0$, $x_2=0,112$, $x_3=-0,15$. Полученные двухмерные сечения (рисунки 6, 7, 8) указывают на нахождение экстремума и получение минимальной энергоёмкости сбивания маслоизготовителя периодического действия с роторно-лопастным рабочим органом.

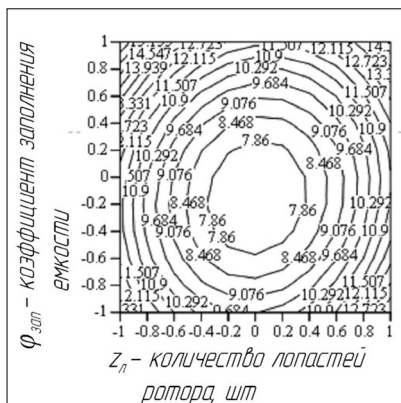
По полученным значениям проводили интерполяцию по каждому фактору согласно таблице. В раскодированном виде оптимальные значения факторов составляют: количество лопастей роторно-лопастного рабочего органа $z_p=3$; частота вращения роторно-лопастного рабочего органа $n_p=422 \text{ мин}^{-1}$; коэффициент заполнения емкости $\varphi_{\text{зан}}=0,57$. Энергоёмкость сбивания маслоизготовителя периодического действия с роторно-

Рисунки 6, 7, 8

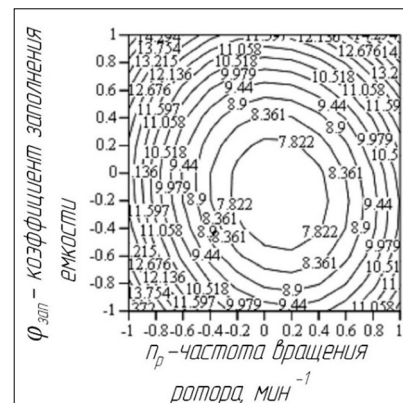
Двухмерные сечения поверхности отклика, характеризующие зависимость энергоемкости сбивания сливочного масла от: (6) количества лопастей ротора (шт) и частоты вращения ротора (мин-1); (7) количества лопастей ротора (шт) и коэффициента заполнения емкости; (8) частоты вращения ротора (мин-1) и коэффициента заполнения емкости



(6)



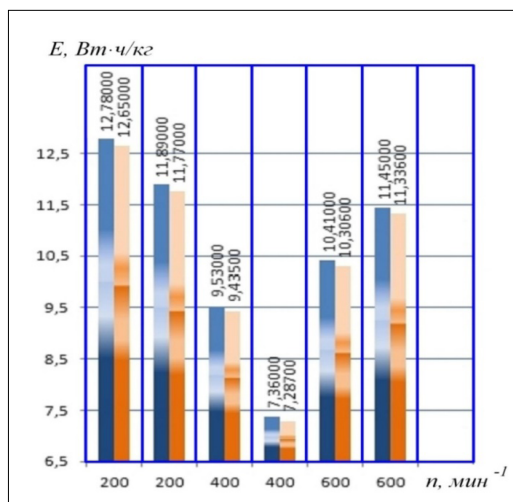
(7)



(8)

Рисунок 9

Зависимость энергоемкости сбивания маслоизготовителя периодического действия от частоты вращения роторно-лопастного рабочего органа (левые столбцы по уравнению регрессии (2), правые столбцы по теоретической зависимости)



лопастным рабочим органом при этом составляет $E = 7,24 \text{ Вт} \cdot \text{ч/кг}$.

Зависимости энергоемкости сбивания маслоизготовителя периодического действия от частоты вращения роторно-лопастного рабочего органа, определенные по уравнению регрессии (2) и теоретической зависимости, приведены на рисунке 9.

Заключение

В результате анализа теоретических и экспериментальных значений установлена достаточная

сходимость F -тест = 0,982, а разброс значений не превышает 1,02%. Вследствие этого можно утверждать о справедливости применения теоретической зависимости.

Литература

- Добролюбов, А. И. (2005). *Скольжение, качение, волна* (2-е изд., испр.). Едиториал УРСС.
 Добролюбов, А. И. (2003). *Бегающие волны деформации* (2-е изд., испр.). Едиториал УРСС.
 Парфенов, В. С., Яшин, А. В., & Полывяный, Ю. В. (2013). *Маслоизготовитель для хозяйств с не-*

- большим объемом производства. *Техника в сельском хозяйстве*, 6, 30-31.
- Парфенов, В. С., Яшин, А. В., & Польшивный, Ю. В. (2014). Маслоизготовитель периодического действия. *Нива Поволжья*, 1(30), 88-91.
- Парфенов, В. С., Яшин, А. В., & Польшивный, Ю. В. (2014). Обоснование конструктивных параметров волнообразного ротора маслоизготовителя периодического действия. *Нива Поволжья*, 4 (33), 95-102.
- Парфенов, В. С., Яшин, А. В., & Польшивный, Ю. В. (2014). Устройство для изготовления сливочного масла. *XXI век: Итоги прошлого и проблемы настоящего плюс*, 6(22), 177-180.
- Парфенов, В. С., Польшивный, Ю. В., & Яшин, А. В. (2018). Гидравлическое моделирование маслоизготовителя периодического действия с роторно-лопастным рабочим органом. *Нива Поволжья*, 1 (46), 108-113.
- Польшивный, Ю. В., & Яшин, А. В. (2018). Определение параметров роторно-лопастного рабочего органа с пятью лопастями. В *Роль вузовской науки в решении проблем АПК* (с. 64-68).
- Яшин, А. В., & Польшивный, Ю. В. (2019). Методика проведения экспериментальных исследований маслоизготовителя с гибким виброприводом по определению его оптимальных параметров. В *Вклад молодых ученых в аграрную науку* (с. 436-438).
- Яшин, А. В., Семов, И. Н., Хорев, П. Н., & Польшивный, Ю. В. (2019). Новое в механизации переработки молока. В *Агропромышленный комплекс: состояние, проблемы, перспективы* (с. 98-102).
- Яшин, А. В., Польшивный, Ю. В., Ионов, И. С., & Алдербегов, М. А. (2019). Определение производительности зоны формирования масляного пресса и параметров формирующей насадки. В *Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России* (с. 216-219).
- Яшин, А. В., Польшивный, Ю. В., & Семов, И. Н. (2019). Гидравлическое моделирование маслоизготовителя с гибким виброприводом. *Нива Поволжья*, 3 (52), 170-176.
- Яшин, А. В., & Польшивный, Ю. В. (2019). Результаты лабораторных исследований маслоизготовителя с гибким виброприводом. *Нива Поволжья*, 3(52), 177-183.
- Яшин, А. В., Польшивный, Ю. В., & Кудеркин, Н. С. (2018). Результаты и анализ экспериментальных исследований масляного пресса. В *Ресурсосберегающие технологии и технические средства для производства продукции растениеводства и животноводства* (с. 177-182).
- Яшин, А. В., Польшивный, Ю. В., & Орехов, А. А. (2018). Методика определения вакуума смыкания сосковой резины, частоты пульсаций, соотношения тактов доильного аппарата и их настройка. В *Инновационные достижения науки и техники АПК* (с. 690-693).
- Яшин, А. В., Польшивный, Ю. В., & Кудеркин, Н. С. (2018). Теоретическое обоснование минимальной величины открытия заслонки бункера масляного пресса. В *Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса России* (с. 199-204).
- Яшин, А. В., Польшивный, Ю. В., Мишанин, А. Л., & Хорев, П. Н. (2018). Определение мощности на привод маслоизготовителя с гибким виброприводом. *Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии*, 4, 92-101.
- Яшин, А. В., Кудеркин, Н. С., & Польшивный, Ю. В. (2017). Обоснование конструктивной схемы масляного пресса. В *Инженерная наука в АПК. Проблемы. Решения* (с. 33-35).
- Яшин, А. В., Парфенов, В. С., & Карасев, А. И. (2018). К вопросу об интенсификации сбивания сливочного масла. В *Инновационные идеи молодых исследователей для агропромышленного комплекса России* (с. 189-191).
- Aloisi, A., Torre, A. D., Rinaldi, R., & De Benedetto, A. (2019). Bio-recognition in spectroscopy-based biosensors for heavy metals-water and waterborne contamination analysis. *Biosensors*, 9(3), 96. <https://doi.org/10.3390/bios9030096>
- Banjare, I. S., Gandhi, K., Sao, K., Arora, S., & Pandey, V. (2019). Physicochemical properties and oxidative stability of milk fortified with spray-dried whey protein concentrate-iron complex and in vitro bioaccessibility of the added iron. *Food Technology and Biotechnology*, 57(1), 48-58.
- Checkaev, N. P., Semov, I. N., Kuznetsov, A. Yu., Arefyev, A. N., & Rylyakin, E. G. (2019). The use of silicon-containing agro ores for increasing the productivity of agricultural crops. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 10(1), 114-117.
- Gutierrez, G. S., Lana, R. P., Teixeira, C. R. V., Veloso, C. M., & Rennó, L. N. (2019). Performance of cross-bred lactating cows at grazing in response to nitrogen supplementation and different levels of concentrate feed. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria e Zootecnia*, 71(3), 1005-1014.
- Igonin, V. N., Sotnikov, M. V., Mishanin, A. L., Denisov, S. V., Danilin, A. V., Yashin, A. V. (2018). Energy intensity reduction of grain contact drying. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 10(5S), 1210-1225.
- Kukharev, O. N., Semov, I. N., Rylyakin, E. G. (2015). The technical solution for a laminated coating on a rounded surfaces. *Contemporary Engineering Sciences*, 8(9), 481-484.

- Lisak Jakopović, K., Barukčić, I., & Božanić, R. (2019). Bioactive components derived from bovine milk. *Mljekarstvo*, 69(3), 151-161.
- Nurullo, T. (2019). Meals of cattle feeders in surkhan oasis. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 9(1), 5247-5249.
- Oliveira, A. P. D., Naozuka, J., Santos, G. A. D., & Nomura, C. S. (2019). Elemental chemical composition of products derived from kefir fermented milk. *Journal of Food Composition and Analysis*, 78, 86-90.
- Petrov, A. M., Savelev, Yu. A., Ishkin, P. A., Semov, I. N., & Kukharev, O. N. (2018). Soil decompaction by frost action. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 9, 6, 39-43.
- Rylyakin, E. G., Semov, I. N., & Kukharev, O. N. (2019). The influence of the oxidative polymerization processes on the energy consumption due to friction in the resource defining hydraulic couplings hydraulic drive mate. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 10, 1, 1064-1069.
- Semov, I. N., Kukharev, O. N., & Fedin, M. A. (2018). Raising productivity of harvesting using the combing method. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 9(3), 1085-1088.
- Thongruang, S., & Paengkoum, P. (2019). Effects of forage species and feeding systems on rumen fermentation, microbiota and conjugated linoleic acid content in dairy goats. *Animal Production Science*, 59(12), 2147-2153.
- Ullah, R., Ali, H., Bilal, M., & Khan, S. (2020). Potentiality of using front face fluorescence spectroscopy for quantitative analysis of cow milk adulteration in buffalo milk. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 225, 117518.
- Wang, Y., Guo, W., Zhu, X., & Liu, Q. (2019). Effect of homogenisation on detection of milk protein content based on nir diffuse reflectance spectroscopy. *International Journal of Food Science & Technology*, 54(2), 387-395.
- Yashin, A. V., Polyvyanyy, Ju. V., & Kuderkin, N. S. (2017). Technique of carrying out experimental researches on labor input assessment with determination optimum values of parameters butter press. *News of Science and Education*, 11, 3, 57-60.
- Yashin, A. V., Semov, I. N., Polyvyanyy, Ju. V., Machnev, A. V., Khorev, P. N., & Mishanin, A. L. (2018). The results of studies of the milking machine with stepped nipple tubes. *Research journal of pharmaceutical, bio-logical and chemical sciences. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 9(6), 1446-1449.
- Yashin, A. V., & Polyvyanyy, Yu. V. (2019). Results of laboratory research of a butter churn with a flexible vibratory drive. *Volga Region Farmland*, 3(3), 106-110.
- Zhang F., Ma, X., Wu, X., Xu, Q., Tian, W., & Li, Z. (2020). Inert particles as process aid in spray-freeze drying. *Drying Technology*, 38(1-2), 71-79.

Results of Pilot Studies Masloizgotovitelya

Aleksey V. Machnev¹, Yuriy V. Polyvyanyi², Aleksandr V. Yashin², Pavel N. Khorev²

¹ *Moscow State University of Food Production*

² *Penza State Agrarian University*

Correspondence concerning this article should be addressed to Alexey V. Machnev, Moscow State University of Food Production, 11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation. E-mail: mav700@mail.ru

The authors of the article present the relevance of raising the issue of intensification of butter shooting. At the current stage of butter production, the issue of preservation of traditional technologies that allow to produce various types of oil from cow's milk, as well as application of innovative technologies that contribute to intensification of the beating process remains relevant for the oil-and-oil industry. An important practical factor for obtaining a quality product is the use of modern oil-and-water equipment, which allows to obtain the maximum amount of the finished product at minimum energy intensity of beating. The authors propose one of the scientific steps when shooting down butter - the phenomenon "Running wave." A running wave, like a butter whipping fak, is formed by rotating a rotary-blade working organ and contributes to reducing the energy intensity of the whipping. The method of implementation and results of studies on justification of optimal structural and technical parameters of the developed oil manufacturer are presented. The expediency of installation in the reservoir of the oil manufacturer of the beating mechanism in the form of a mountain-zontically located rotary-blade working element has been experimentally confirmed. An experimental sample of an oil producer of periodic action with a rotary-blade working organ was developed and laboratory studies were carried out, after analysis of which the optimal structural and kinematic parameters of the oil manufacturer were revealed with the production of beating of 13.4 kg/h, the percentage of butter output 59.5% and fat loss less than 0.4%: rotation speed of the rotary-blade working organ $n_p = 422 \text{ min}^{-1}$; Number of blades of rotor-blade working element $z_p = 3$; coefficient of filling of capacity $\varphi_f = 0,57$. Thus, it has been found that the developed periodic oil manufacturer with a rotor-blade working member provides efficient beating of butter with a high percentage of fat usage (more than 99.6%) and energy-intensity of beating equal to 7,24W h/kg.

Keywords: oil maker, rotary-blade tool, cream, butter, reservoir

References

- Dobrolyubov, A. I. (2005). *Skol'zhenie, kachenie, volna [Sliding, swing, wave]* (2nd ed.) Unitorial URSS.
- Dobrolyubov, A. I. (2003). *Begushchie volny deformacii [The running deformation waves]* (2nd ed). Unitorial URSS.
- Parfenov, V. S., Yashin, A. V., & Polyvyanyi, Yu. V. (2013). Oil producer for farms with not-large production volume. *Tekhnika v sel'skom hozyajstve [Machinery in agriculture]*, 6, 30-31.
- Parfenov, V. S., Yashin, A. V., & Polyvyanyi, Yu. V. (2014). Milkchurn of periodic action. *Niva Povolzh'ya [Field of the Volga region]*, 1 (30), 88-91.
- Parfenov, V.S., Yashin, A.V., & Polyvyanyi, Yu.V. (2014). Substantiation of structural pair-meters of wave-shaped rotor of oil manufacturer of periodic production. *Niva Povolzh'ya [Field of the Volga region]*, 4 (33), 95-102.
- Parfenov, V. S., Yashin, A. V., & Polyvyanyi, Yu. V. (2014). Device for production of drain oil. *Twenty-first century: the outcome of the past and the challenges of the present plus*, 6(22), 177-180.
- Parfenov, V. S., Polyvyanyi, Yu. V., & Yashin, A. V. (2018). Hydraulic simulation of periodic mas-producer with rotor-blade working member. *Niva Povolzh'ya [Field of the Volga region]*, 1 (46), 108-113.
- Polyvyanyi, Yu. V., & Yashin, A. V. (2018). Determination of parameters of rotor-blade working member with five blades. In *Rol' vuzovskoj nauki v reshenii problem APK [Role of university science in solving problems of agro-industrial complex]*, 64-68.
- Yashin, A. V., & Polyvyanyi, Yu. V. (2019). Procedure for carrying out experimental studies of oil producer with flexible vibration drive to determine its optical parameters. In *Vklad molodyh uchenykh v agrarnuyu nauku [Contribution of young scientists to agrarian science]*, 436-438.

How to Cite

Machnev, A. V., Polyvyanyi, Y. V., Yashin, A. V., & Khorev, P. N. (2020). Results of Pilot Studies Masloizgotovitelya. *Health, Food & Biotechnology*, 2(1). <https://doi.org/10.36107/hfb.2020.i1.s292>

- Yashin, A. V., Shomov, I. N., Khorev, P. N., & Polyvyanyi, Yu. V. (2019). New in mechanization of milk processing. In *Agropromyshlennyy kompleks: sostoyanie, problemy, perspektivy [Agro-industrial complex: state, problems, prospects]*, 98-102.
- Yashin, A. V., Polivyanyi, Yu. V., Ion, I. S., Alderbegov, M. A. (2019). Determination of productivity of oil press forming zone and parameters of nozzle mold. In *Vklad molodyh uchenykh v innovacionnoe razvitiye APK Rossii [Contribution of Young Scientists to Innovative Development of Agro-Industrial Complex of Russia]*, 216-219.
- Yashin, A. V., Polivyanyi, Yu. V., & Shomov, I. N. (2019). Hydraulic simulation of oil manufacturer with flexible vibration drive. *Niva Povolzh'ya [Field of the Volga region]*, 3 (52), 170-176.
- Yashin, A. V., & Polivyanyi, Yu. V. (2019). Results of laboratory studies of oil generator with flexible vibration drive. *Niva Povolzh'ya [Field of the Volga region]*, 3 (52), 177-183.
- Yashin, A. V., Polivyanyi, Yu. V., & Kuderkin, N. S. (2018). Results and analysis of experimental oil press studies. In *Resursosberegayushchie tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva [Resource-saving technologies and technical means for crop and livestock production]*, 177-182.
- Yashin, A. V., Polivyanyi, Yu. V., & Orekhov, A. A. (2018). Procedure for determination of vacuum of teat rubber washing, frequency of pulsations, ratio of milking machine strokes and their adjustment. In *Innovacionnye dostizheniya nauki i tekhniki APK [Innovative achievements of science and technology of APK]*, 690-693.
- Yashin, A. V., Polivyanyi, Yu. V., & Kuderkin, N. S. (2018). Theoretical substantiation of the minimal value of opening the flap of the oil press hopper. In *Innovacionnye idei molodyh issledovatelej dlya agropromyshlennogo kompleksa Rossii [Innovative ideas of young researchers for agro-industrial complex of Russia]*, 199-204.
- Yashin, A. V., Polivyanyi, Yu. V., Mishanine, A. L., & Khorev, P. N. (2018). Determination of power for oil manufacturer drive with flexible vibration drive. In *Izvestiya Samarskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii [News of Samara State Agricultural Academy]*, 4, 92-101.
- Yashin, A. V., Kuderkin, N. S., & Polyvyanyi, Yu. V. (2017). Substantiation of the structural diagram of the oil press. In *Inzhenernaya nauka v APK. Problemy. Resheniya [Engineering science in the agribusiness. Problems. Decisions]*, 33-35.
- Yashin, A. V., Parfenov, V. S., & Karasev, A. I. (2018). To the question of intensification of butter shooting down. In *Innovacionnye idei molodyh issledovatelej dlya agropromyshlennogo kompleksa Rossii [Innovative ideas of young researchers for ag-industry complex of Russia]*, 189-191.
- Aloisi, A., Torre, A. D., Rinaldi, R., & De Benedetto, A. (2019). Bio-recognition in spectroscopy-based biosensors for heavy metals-water and water-borne contamination analysis. *Biosensors*, 9(3), 96. <https://doi.org/10.3390/bios9030096>
- Banjare, I. S., Gandhi, K., Sao, K., Arora, S., & Pandey, V. (2019). Physicochemical properties and oxidative stability of milk fortified with spray-dried whey protein concentrate-iron complex and in vitro bioaccessibility of the added iron. *Food Technology and Biotechnology*, 57(1), 48-58.
- Checkaev, N. P., Semov, I. N., Kuznetsov, A. Yu., Arefyev, A. N., & Rylyakin, E. G. (2019). The use of silicon-containing agro ores for increasing the productivity of agricultural crops. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 10(1), 114-117.
- Gutierrez, G. S., Lana, R. P., Teixeira, C. R. V., Veloso, C. M., & Rennó, L. N. (2019). Performance of cross-bred lactating cows at grazing in response to nitrogen supplementation and different levels of concentrate feed. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria e Zootecnia*, 71(3), 1005-1014.
- Igonin, V. N., Sotnikov, M. V., Mishanin, A. L., Denisov, S. V., Danilin, A. V., & Yashin, A. V. (2018). Energy intensity reduction of grain contact drying. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 10, 5S, 1210-1225.
- Kukharev, O. N., Semov, I. N., & Rylyakin, E. G. (2015). The technical solution for a laminated coating on a rounded surfaces. *Contemporary Engineering Sciences*, 8(9), 481-484.
- Lisak Jakopović, K., Barukčić, I., & Božanić, R. (2019). Bioactive components derived from bovine milk. *Mljekarstvo*, 69. (3), 151-161.
- Nurullo, T. (2019). Meals of cattle feeders in surkhan oasis. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. T. 9.(1), 5247-5249.
- Oliveira, A. P. D., Naozuka, J., Santos, G. A. D., & Nomura, C. S. (2019). Elemental chemical composition of products derived from kefir fermented milk. *Journal of Food Composition and Analysis*, 78, 86-90.
- Petrov, A. M., Savelev, Yu. A., Ishkin, P. A., Semov, I. N., & Kukharev, O. N. (2018). Soil decompaction by frost action. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 9(6), 39-43.
- Rylyakin, E. G., Semov, I. N., & Kukharev, O. N. (2019). The influence of the oxidative polymerization processes on the energy consumption due to friction in the resource defining hydraulic couplings hydraulic drive mate. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 10, 1, 1064-1069.
- Semov, I. N., Kukharev, O. N., & Fedin, M. A. (2018).

- Raising productivity of harvesting using the combing method. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 9(3), 1085-1088.
- Thongruang, S., & Paengkoum, P. (2019). Effects of forage species and feeding systems on rumen fermentation, microbiota and conjugated linoleic acid content in dairy goats. *Animal Production Science*, 59(12), 2147-2153.
- Ullah, R., Ali, H., Bilal, M., & Khan, S. (2020). Potentiality of using front face fluorescence spectroscopy for quantitative analysis of cow milk adulteration in buffalo milk. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 225, 117518.
- Wang, Y., Guo, W., Zhu, X., & Liu, Q. (2019). Effect of homogenisation on detection of milk protein content based on nir diffuse reflectance spectroscopy. *International Journal of Food Science & Technology*, 54(2), 387-395.
- Yashin, A. V., Polyvyanyy, Ju. V., & Kuderkin, N. S. (2017). Technique of carrying out experimental researches on labor input assessment with determination optimum values of parameters butter press. *News of Science and Education*, 11, 3, 57-60.
- Yashin, A. V., Semov, I. N., Polyvyanyy, Ju. V., Machnev, A. V., Khorev, P. N., & Mishanin, A. L. (2018). The results of studies of the milking machine with stepped nipple tubes. *Research journal of pharmaceutical, bio-logical and chemical sciences. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 9(6), 1446-1449.
- Yashin, A. V., & Polyvyanyy, Yu. V. (2019). Results of laboratory research of a butter churn with a flexible vibratory drive. *Volga Region Farmland*, 3(3), 106-110.
- Zhang F., Ma, X., Wu, X., Xu, Q., Tian, W., & Li, Z. (2020). Inert particles as process aid in spray-freeze drying. *Drying Technology*, 38(1-2), 71-79.

Эффективность метода обработки быстрыми электронами для снижения порчи пищевого сырья и продовольственных товаров при хранении и транспортировке

Рогов Иосиф Александрович¹, Чоманов Уришбай Чоманович²,
Данильчук Татьяна Николаевна¹

¹ ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

² Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности

Корреспонденция, касающаяся этой статьи, должна быть адресована Данильчук Т.Н., ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», адрес: 125080, город Москва, Волоколамское шоссе, дом 11. E-mail: danilchuktn@mgpp.ru

Актуальной и не до конца решенной в настоящее время является проблема снижения потерь пищевого сырья и продовольственных товаров при транспортировке и хранении, снижения качества продукции в результате заражения насекомыми и микроорганизмами, порчи продукции грызунами. Применение традиционных методов дезинфекции, дезинсекции и дератизации не всегда бывает достаточным для полного обеззараживания, а иногда и нецелесообразным, и требуется использование альтернативных способов, например воздействие электромагнитных полей различного частотного диапазона. Из всего спектра электромагнитных волн исследователи особо выделяют ионизирующее излучение, способное убивать или видоизменять клетки растений, фрагментировать ДНК. Это свойство ионизирующего излучения можно использовать для борьбы с микроорганизмами, насекомыми, гельминтами и грызунами. Настоящая работа является развитием научных идей академика РАН И.А. Рогова в области использования ионизирующих излучений для обработки сельскохозяйственного сырья и продуктов питания. В статье приведены результаты экспериментов по обработке быстрыми электронами пищевого сырья и продуктов, зараженных микроорганизмами и насекомыми. Для различных объектов исследования определены дозы воздействия, вызывающие хороший биологический эффект, но не приводящие к деструкции биополимеров. Показано, что помимо дозы, другие факторы оказывают значительное воздействие на результаты процесса обработки, например температура и физическое состояние пищи. Замораживание оказывает защитное влияние во время облучения, предупреждая образование продуктов водного радиолиза, которые образуются в результате реакции с субстратом. При нагревании эти продукты (гидроксильные радикалы) имеют тенденцию реагировать преимущественно друг с другом, а не с субстратом, так что опасность для последнего обычно уменьшается, когда производят облучение замороженной пищи. Анаэробные условия также влияют на природу радиолитических продуктов, поскольку присутствие кислорода во время облучения может генерировать высокореактивные супероксидные радикалы и пероксирадикалы и пероксид водорода. Поведен сравнительный анализ результатов действия различных доз облучения на продукты растительного и животного происхождения. Показана эффективность и экономическая целесообразность применения обработки быстрыми электронами для снижения микробной порчи и зараженности насекомыми пищевого сырья и продовольственных товаров, а также для увеличения сроков хранения продукции.

Ключевые слова: микроорганизмы, пищевое сырье, ионизирующие излучения, быстрые электроны

Как цитировать

Рогов, И. А., Чоманов, У. Ч., & Данильчук, Т. Н. (2020). Эффективность метода обработки быстрыми электронами для снижения порчи растительного сырья при хранении и транспортировке. *Health, Food & Biotechnology*, 2(1). <https://doi.org/10.36107/hfb.2020.i1.s291>

Введение

Важное место в питании человека занимают овощи, продукты переработки зерна, мясные и молочные продукты. Актуальной в настоящее время задачей, наряду с вопросами повышения урожайности сельскохозяйственных культур и рационального использования мясо-молочных ресурсов, является сокращение потерь пищевой продукции в процессе хранения и транспортировки (Деерак, 2017)¹.

В настоящее время продукты переработки зерна невозможно хранить без борьбы не только с микроорганизмами, но и с насекомыми-вредителями (Закладной, 2002; Ogerdegbe, 2014; Gabarty, 2016). Мясные продукты – важнейший источник полноценного белка для человека. Эти продукты, как правило, хранятся при низких температурах в холодильных камерах. Известно, что замороженное мясо имеет более низкие вкусовые качества и питательную ценность, чем охлажденное. В тоже время в охлажденных мясных продуктах создаются лучшие условия для развития различной микрофлоры, чем в замороженных. Такие же условия создаются при движении мясных продуктов от производителя к потребителю, что приводит к гнилой порче продукции (Daher, 1985; Dave, 2011; Lee, 2017).

Важными в питании человека являются такие молочные продукты как творог и сметана. Творог – важнейший источник полноценного белка и органического кальция. Сметана имеет богатый минерально-витаминный состав, содержит достаточно много легко усвояемого белка, натуральные молочные сахара, углеводы, органические кислоты. Как и у многих продуктов питания основной причиной порчи творога и сметаны является микробиологическая обсемененность (Bereda, 2014; Gheisari, 2014; Laslo, 2018).

Большой объем производства яичного порошка, широкое применение яичных продуктов и яиц в пищевой промышленности (Зимняков, 2018) требуют серьезного внимания к вопросу выпуска этого вида продукции, так как яйца птицы представляют хороший субстрат для размножения различных групп микроорганизмов (Peric, 2011; Красникова, 2016²). Актуальным является обеспечение выпуска безопасных в санитарно-гигиеническом отношении яичных продуктов, что может

быть эффективно достигнуто при обеззараживании ионизирующим излучением (Asghar, 2012).

В связи с изложенным выше, разработка способов сохранности пищевых продуктов и пищевого сырья представляется одной из наиболее важных задач в вопросе обеспечения населения полноценным и качественным продовольствием. Использование традиционных методов дезинфекции, дезинсекции и дератизации с применением химических веществ не всегда бывает достаточным для полного обеззараживания, а иногда и экологически нецелесообразным, и требуется использование альтернативных способов. В связи с этим несомненный интерес представляет применение физических методов воздействия на вредителей, например с использованием ионизирующего излучения.

Важным аспектом эпидемиологической безопасности и здоровья населения является улучшение качества питьевой воды, прежде всего очистка воды от патогенных организмов и примесей. В качестве мощного безреагентного фактора для обеззараживания воды можно использовать ионизирующее излучение, действие которого приводит к гибели имеющихся в облучаемой воде болезнетворных микроорганизмов. Преимуществами радиационного обеззараживания воды, пищевого сырья и продовольственных товаров, по сравнению с традиционными методами обработки, являются ее универсальность, то есть возможность обезвреживать многие органические и любые микробные загрязнители; высокая степень обеззараживания и очистки; высокая скорость обработки и возможность полной автоматизации.

Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН (ФАО) и Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) одобрили использование ионизирующего излучения для обработки пищевых продуктов с целью стерилизации и консервирования. В настоящее время общий годовой объем облученной продукции в мире оценивается в 700- 800 тыс. т, а рынок облучения – на сумму более 2 млрд. \$ и имеет устойчивую тенденцию роста (Павлов, 2019).

Специфика действия радиоактивного излучения на биообъекты заключается в большой энергии квантов и элементарных частиц, появляющихся в процессе самопроизвольного превращения ато-

¹ Gunders, D. (2012). Wasted: How America Is Losing Up to 40 Percent of Its Food from Farm to Fork to Landfill. *NRDC Issue Paper*, iP:12-06-B.

² Красникова, Л.В., Гунькова, П.И. и Савкин, О.А. (2016). Общая и пищевая микробиология: учебное пособие. Часть II. Университет ИТМО. 56-59.

мов одного элемента в атомы других элементов, вызывающей появление в любой среде высокоактивных частиц: молекул, радикалов, ионов, атомов. Характер и степень эффективности действия излучения зависят от его источника, мощности, поглощенной дозы, ее биоэффективности, а также от наличия модифицирующих факторов и физиологического состояния объекта.

Жесткое электромагнитное излучение (рентгеновское и γ -излучение, быстрые электроны) способно убивать или видоизменять клетки растений, фрагментировать ДНК (Yokota, 2007), вызывать различные изменения в хромосомах (Rochanabanthit, 2014). Сравнение относительно низкой и высокой доз γ -излучения при обработке культур клеток растений показало, что низкие дозы стимулируют биосинтез клеток (Chung, 2006; Журавская, 2016). При обработке радиацией семян растений первичный эффект связывают с образованием активных окислителей, главным образом радикалов и пероксидов. Такие соединения путем воздействия на биомембраны, стимулируют образование молекул (гиббереллино-подобных веществ в зародыше, хинонидных – в тканях), запускающих процессы метаболизма. Усиление дозы облучения вызывает более масштабные разрушения в клетках.

Целью проведенных экспериментов являлось изучение воздействия быстрыми (ускоренными) электронами и электронно-плазменного воздействия на продовольственное сырье и пищевые продукты; выявление доз воздействия, вызывающих значительные биологические эффекты без деструкции биополимеров; выявление других факторов, оказывающих значительное воздействие на результаты процесса обработки; разработка рекомендаций по использованию быстрых электронов в общем технологическом процессе обработки пищевых продуктов.

Теоретическое обоснование

Методы обработки, в которых используют электронное излучение или потоки фотонов, в научной литературе называют пиковолновой технологией. Инструментарием в пиковолновой технологии (ПВТ) при воздействии на тонкослойные материалы служат потоки электронов с энергией от 0,15 до 10 мегаэлектронвольт (МэВ). При модификации объемных материалов используют потоки гамма-квантов, как правило, ^{60}Co или ^{137}Cs ($\lambda \leq 10^{-12}$ м), проникающая способность которых достигает 30 см в материале с плотностью $\rho = 1 \text{ г/см}^3$. Пиковолновая технология приводит к выигрышу энергии за счет

того, что высокоэнергетическое излучение с большей эффективностью генерирует в системе реакционноспособные частицы (ионы, электроны, свободные радикалы, возбужденные атомы и молекулы) по сравнению с другими типами воздействия, например, тепловым (Перси́нен, 2007; Garcia-Marquez, 2011). Пучки быстрых электронов можно получать, используя линейные ускорители (Ауслендер, 2009; Martins, 2014), бетатроны (Мешков, 2005; Corde, 2012) или радиоактивные изотопы некоторых элементов, например, изотопы цезия (^{137}Cs , ^{134}Cs) или стронция (^{90}Sr). Наименьшую стоимость капитальных затрат при реализации способа обработки пищевого сырья и продуктов питания с применением ионизирующих излучений дают электронно-лучевые установки.

Генерируемый ускорителями пучок ускоренных электронов с энергией в несколько сотен килоэлектронвольт (кэВ) при прохождении через газ может образовывать холодную плазму – ионизированный газ, состоящий из электронов, ионов и нейтральных частиц. В последнее время в научной литературе достаточно активно обсуждаются вопросы использования холодной плазмы в пищевой промышленности для мягкой и экологически безопасной стерилизации поверхностей скоропортящихся товаров, улучшения свойств пищевой упаковки. Этот метод в научной литературе часто называют электронно-плазменной обработкой. Такая обработка оказывает минимальное воздействие на физические, химические, питательные и органолептические свойства пищевых продуктов позволяет существенно увеличивать срок их хранения (Гомбоева, 2017; Семенов, 2017; Lee, 2017; Misra, 2011).

Исследование

Материалы

В качестве объектов исследования были выбраны питьевая вода, ячневая крупа, сметана, творог, мясо свинины, мясо говядины, мясо птицы, яичный порошок.

Для проведения модельных экспериментов использовали образцы ячневой крупы, контаминированные малым мучным хрущакom (*Tribolium confusum* Duv), поскольку это насекомое относится к вредителям, приносящим особый вред запасам зерна и муки, а также образцы питьевой воды, сметаны и творога, контаминированные микроорганизмами *Escherichia coli* (Всероссийская коллекция промышленных микроорганизмов (ВКПМ):

E.coli B-11419) и *Bacillus subtilis* (Коллекция культур ATCC: *B.subtilis* ATCC-6633).

Оборудование

Объекты обрабатывали пучком ускоренных электронов. Использовали импульсный высокочастотный линейный ускоритель электронов ИЛУ-10 и линейный ускоритель электронов непрерывного действия ЭВЛ-1. Параметры пучков ускоренных электронов, генерируемых этими ускорителями, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные параметры ускорителей электронов

Параметры	ИЛУ-10	ЭВЛ-1
Диапазон энергий, МэВ	2.5-5.0	0,4-0,7
Мощность электронного пучка (max), кВт	50	25
Максимальный ток пучка (max), мА	20	40

Методы исследования

При проведении исследований использовали общие международные регламентирующие документы ВОЗ и ФАО ООН, межгосударственные стандарты, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации, основными из которых являются: ГОСТ 33340-2015³, Кодекс Алиментариус⁴, Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011⁵, ГОСТ 30363-2013⁶, ГОСТ 31962-2013⁷, ГОСТ 31453-2013⁸, ГОСТ 31452-2012⁹, ГОСТ 34165-2017¹⁰, ГОСТ ISO 7218-2015¹¹; национальные стандарты Российской Федерации: ГОСТ Р 51705.1¹², ГОСТ Р 54315-2011¹³, ГОСТ Р ИСО/АСТМ 51900-2013¹⁴; санитарные правила СанПиН 2.3.2.1078-01¹⁵ и СанПиН 2.3.2.1324-03¹⁶; Инструкция по порядку и периодичности

контроля за содержанием микробиологических и химических загрязнителей в мясе, птице, яйцах и продуктах их переработки¹⁷.

Процедура исследования

Для исследований по оценке эффективности дезинсекции крупы ускоренными электронами были подготовлены образцы ячневой крупы, контаминированные мучным хрущак. Контаминация производилась посадкой половозрелых жуков-вредителей и их личинок в количестве 1000 экземпляров на порцию крупы весом 0,4 кг. Образцы крупы, после контаминации запаивались в полиэтиленовые пакеты размером 20х25 см, которые затем помещались в мешочки из мешковины. Подготовленные опытные пробы крупы подвергались облучению дозами от 0,1 до 0,5 кГр. Использовали электронный пучок с энергией 4,5 МэВ. Полный ток пучка составлял 20 мА. Режим обработки – однократный. Количество жуков и их личинок определяли методом визуального исследования в соответствии с ГОСТ 34165-2017. Повторность опытов в каждом режиме была трехкратная.

Для оценки эффективности электронно-плазменного воздействия в образцы (питьевую воду, сметану, творожные массы) вносили суспензии *Escherichia coli* и *Bacillus subtilis* (общая концентрация микроорганизмов варьировалась от $1 \cdot 10^5$ до $1,2 \cdot 10^7$ кл/г). Использовали электронный пучок с энергией 0,4 МэВ. Полный ток пучка составлял 03-0,6 мА. Эксперименты по обработке питьевой воды и сметаны проводили в кювете с толщиной слоя обрабатываемого материала 1,0 мм. Пучок электронов направляли непосредственно на поверхность. Перед заполнением жидкостью кювета стерилизовалась электронным пучком в течение

³ ГОСТ 33340-2015 «Пищевые продукты, обработанные проникающим излучением. Общие положения (Переиздание)».

⁴ Кодекс Алиментариус. Облученные продукты питания. (2007). [Codex Alimentarius. Irradiated food]. Весь Мир. 24.

⁵ Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021 /2011 «О безопасности пищевой продукции».

⁶ ГОСТ 30363-2013 «Продукты яичные жидкие и сухие пищевые. Технические условия».

⁷ ГОСТ 31962-2013 «Мясо кур (тушки кур, цыплят, цыплят-бройлеров и их части). Технические условия».

⁸ ГОСТ 31453-2013 «Творог. Технические условия».

⁹ ГОСТ 31452-2012 «Сметана. Технические условия».

¹⁰ ГОСТ 34165-2017 «Зерновые, зернобобовые и продукты их переработки. Методы определения загрязненности насекомыми-вредителями».

¹¹ ГОСТ ISO 7218-2015 «Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Общие требования и рекомендации по микробиологическим исследованиям».

¹² ГОСТ Р 51705.1 «Системы качества. Управление качеством пищевых продуктов на основе принципов ХАССП».

¹³ ГОСТ Р 54315-2011 «Крупный рогатый скот для убоя. Говядина и телятина в тушах, полутушах и четвертинах. Технические условия».

¹⁴ ГОСТ Р ИСО/АСТМ 51900-2013 «Руководство по дозиметрии при исследовании влияния радиации на пищевые и сельскохозяйственные продукты».

¹⁵ СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов».

¹⁶ СанПиН 2.3.2.1324-03 «Гигиенические требования к срокам годности и условиям хранения пищевых продуктов».

¹⁷ Инструкция по порядку и периодичности контроля за содержанием микробиологических и химических загрязнителей в мясе, птице, яйцах и продуктах их переработки. (2000). ДеЛи.

5 мин. Обработку творога проводили следующим образом: творог помещался между двумя лавсановыми пленками и раскатывался в слой толщиной 2 мм. Обработка пучком проводилась в 2 этапа – с одной стороны и с другой стороны. Используемые образцы лавсановой пленки предварительно стерилизовались пучком. Продолжительность воздействия варьировали от 30 с до 20 мин. Повторность опытов в каждом режиме была четырехкратная.

Микробиологические исследования продуктов проводились в соответствии с ГОСТ 32901-2014¹⁸ и ГОСТ 9958-81¹⁹. Средневзвешенное значение количества микроорганизмов рассчитывали по ГОСТ ISO 7218-2015.

Результаты и их обсуждение

Ускоренные электроны, даже большой энергии, обладают малой проникаемостью в продуктах. Поток ускоренных электронов характеризуется спектром излучения и их энергии определяется по энергии максимума в спектре, поэтому количество энергии (W) в МэВ/г·с, поглощенной в этом слое, определяется интегралом:

$$W = \tau \int_0^E \frac{E \cdot N(E)}{\Delta(E)q} dE, \quad (1)$$

где E – энергия рассматриваемого спектра, МэВ;

$N(E)$ – количество электронов, приходящихся на энергию в долях от общего потока электронов, на 1 см^2 поверхности продукта в секунду;

$\Delta(E)$ – глубина проникновения в продукт электронов рассматриваемой

энергии спектра, см;

q – массовая плотность продукта, г/см³.

Тогда доза излучения в этом слое продукта за время τ (с) его обработки составит:

$$D = 1,6 \cdot 10^{-8} W \frac{1,6 \cdot 10^{-8}}{q} \int_0^E \frac{E \cdot N(E)}{\Delta(E)q} dE = \frac{1,6 \cdot 10^{-8}}{q} \int_0^E \frac{E \cdot N(E)}{\Delta(E)q} dE \text{ (рад)}, \quad (2)$$

Полученное выражение для оценки дозы излучения при обработке любых пищевых продуктов электронами различной энергией может быть записано в безмерной форме:

$$\frac{0 \cdot q}{1,6 \cdot 10^{-8} r \int_0^E \frac{E \cdot N(E)}{\Delta(E)} dE} = 1, \quad (3)$$

Это соотношение является критерием подобия процесса обработки продовольствия пучком электронов любой энергии.

В данной работе была проведена оценка эффективности дезинсекции крупы после ее обработки на электрофизической установке, генерирующей ускоренные электроны с энергией 4,5 МэВ. Для исследований были подготовлены 12 образцов ячневой крупы, контаминированных мучным хрущак. Опытные пробы крупы подвергались облучению дозами 0,1; 0,2; 0,3 и 0,5 кГр при однократном режиме обработки. Результаты исследования по оценке эффективности дезинсекции крупы ускоренными электронами приведены в табл. 2.

Из таблицы видно, что эффективность воздействия доз излучения в пределах от 0,2 до 0,5 кГр примерно одинакова как для самих жуков, так и для их личинок. С ростом дозы излучения процент погибших жуков и личинок увеличивается и при 0,3-0,5 кГр составляет на 5-й день после облучения в среднем 40-63 %. Количество живых насекомых в тех же условиях колеблется от 23 до 3 %, а малоподвижных особей – 28-30 %.

Одной из целей облучения пищи является снижение популяции загрязняющих пищу микроорганизмов. Средняя летальная доза (СЛД) определяется как доза, необходимая для уничтожения 63% популяции (D_{37}). Однако более принятой в настоящее время является доза D_{10} , которая определена как доза облучения, необходимая, чтобы вызвать 10-кратное снижение содержания микроорганизмов. D_{10} зависит от ряда факторов, вида облучаемых продуктов, температуры, наличия кислорода и содержания воды. Все эти факторы, включая условия хранения после облучения (для нестерилизуемых доз) определяют окончательную пригодность продуктов в пищу человека.

Чувствительность к облучению дрожжей и плесени оценивается не по D_{10} , а по дозе, необходимой для гибели вида. Например, самая низшая доза, которая гарантирует, что характерное число спор в посевном материале не выживает, это доза инактивации. Другие критерии включают пострадиационный размер колоний определенного количества

¹⁸ ГОСТ 32901-2014 «Молоко и молочная продукция. Методы микробиологического анализа (с Поправками)».

¹⁹ ГОСТ 9958-81 «Изделия колбасные и продукты из мяса. Методы бактериологического анализа (с Изменениями N 1, 2)».

Таблица 2

Состояние насекомых (жуков и личинок) через 5 дней после воздействия ускоренными электронами с энергией 4,5 МэВ*

Доза, кГр	Состояние насекомых, шт.							
	Жуки				Личинки			
	живые	мертвые	в состоянии оцепенения	всего	живые	мертвые	в состоянии оцепенения	всего
0,1	43	27	30	100	23	17	60	100
0,2	35	32	33	100	27	30	43	100
0,3	23	46	31	100	17	40	43	100
0,5	8	63	29	100	3	63	34	100

Примечание. *Приведены усредненные значения по результатам трехкратных повторностей эксперимента

спор после строго определенного периода роста, а также дозу облучения, которое требуется для ингибирования специфических функций, таких, как продукция диоксида углерода бродильными дрожжами. Что же касается бактерий, то на их выживаемость могут влиять внешние условия после облучения, например температура.

В пищеварительном тракте птицы, скота, грызунов, насекомых и диких животных могут существовать *Salmonella* и *Campylobacter*, которые вызывают заболевания кишечника человека. Субклиническую сальмонеллезную инфекцию у птиц предупредить чрезвычайно трудно, но большинство заболеваний человека можно предупредить облучением упаковок, непосредственно поступающих к потреблению. Основной передатчик *Salmonella* и *Campylobacter* – это птица и непастеризованное молоко. Птица, зараженная сальмонеллами, может откладывать инфицированные яйца.

Наши эксперименты показали, что *Salmonella* и *Campylobacter* легко разрушаются облучением. Для такой обработки целесообразно использовать быстрые (ускоренные) электроны. Облучение дозой 2 кГр в воздухе понижает количество сальмонелл в яичном порошке и твердом яичном желтке до 1000 раз без ухудшения органолептических свойств и питательной ценности. Облучение дозой 3-6 кГр может убить сальмонеллы в цельном яйце и яичном меланже, а облучение дозой 5 кГр приводит к разрушению сальмонелл в замороженных очищенных от скорлупы яйцах и яичном порошке. Обработку яичного порошка целесообразно применять после сушки продукта и после процесса охлаждения перед упаковкой.

Облучение яиц в скорлупе для контроля сальмонеллы технически не выполнимо, поскольку требуемая доза 2-4 кГр может повредить многие характеристики яйца, например, привести к разжижению белка и ослаблению оболочки желтка. В настоящее время основным методом пастеризации цельных скорлупных яиц является погружение в горячую воду, однако при этом пастеризуется менее 1% всех скорлупных яиц. Изучаемые в настоящее время альтернативные методы пастеризации цельной скорлупы яиц включают микроволновое излучение, радиочастотное облучение и их комбинации, в частности сочетание энергии радиочастоты и теплопереноса от водяной ванны. Разрабатываются технологии поверхностной пастеризации скорлупы куриных яиц, включающие электролиз воды, атмосферную плазму, ультрафиолетовый свет, импульсный свет и озон. Дальнейшее внедрение новых технологий пастеризации позволит исключить сальмонеллез из скорлупы яиц (O'Keefe, 2013; Keener, 2017). Наши эксперименты показали, что не наблюдается значительной разницы между контрольными и экспериментальными яйцами, облученными 1,5 или 3,0 кГр и хранящимися при 4°C в течение 25 дней. Значительная разница, однако, обнаружена между контрольными и экспериментальными яйцами, облученными 3,0 кГр (имеются в виду органолептические свойства), когда они поджарены или приготовлены в виде омлета.

В настоящее время более 50% мяса выпускается в реализацию в тушах в замороженном состоянии с последующей разделкой их в торговые сети, что не обеспечивает сохранения первоначального качества мяса. Заболевания, вызванные поеданием мяса, зараженного гельминтами, наблюдаются во

всем мире. Нами выявлено, что яйца и личинки бычьего солитера (*Taenia saginata*) можно убить облучением мяса, зараженного гельминтами, быстрыми электронами в дозе 0,4 кГр или замораживанием, при этом вкус пищи не меняется. Облучение свинины быстрыми электронами в дозе 0,3 кГр или менее может убить личинки трихеллы (*Trichinella spiralis*), а облучение более низкой дозой может снизить риск цистицеркоза, вызываемого свиным вооруженным цепнем (*Taenia solium*).

Из научной литературы известно (Calkins, 2008; Павлов, 2017), что большое количество других паразитических простейших и гельминтов, вредных для здоровья человека, можно уничтожить низкими дозами радиации (1 кГр или меньше).

Большая часть сырого мяса, предназначенного для потребления человеком, загрязнена *Salmonella* и *Campylobacter*, оба микроорганизма, как показано выше, эффективно контролируются облучением, так как они хорошо разрушаются дозами 2-3 кГр. В мясе птицы могут присутствовать и другие бактерии, включая *Staphylococcus aureus*, *Clostridium perfringens*, *Yersinia enterocolitica* и *Listeria monocytogenes*. Проведенные нами опыты по обработке мяса курицы быстрыми электронами показали, что использование облучения в дозе 3-4 кГр позволяет не только инактивировать болезнетворные микроорганизмы, но и увеличить срок хранения мяса курицы на 1-2 недели. Пищевую ценность и органолептические свойства такая обработка не ухудшает. Аналогичные результаты были получены другими исследователями в экспериментах по холодной стерилизации рыбных пресервов электронным излучением с разными дозиметрическими параметрами (Полякова, 2017). Было выявлено, что использование электронного ускорителя для холодной стерилизации рыбных пресервов в дозах от 3 до 6 кГр не нарушает качества продукции, гарантирует микробиологическую безопасность и продлевает сроки хранения.

Необходимо иметь в виду, что проникающая способность быстрых (ускоренных) электронов с энергией 1 МэВ составляет 0,4 см, а с энергией 8 МэВ – 2,5 см (толщина слоя половинного ослабления). Тушки птицы могут иметь большую толщину, что приводит к снижению надежности подавления патогенной микрофлоры.

Помимо дозы, другие факторы оказывают значительное воздействие на результаты процесса, например температура и физическое состояние пищи. Для достижения намеченной цели не всегда достаточно применения одной ионизирующей

радиации: требуемая доза может вызвать нежелательные последствия. Многие молочные продукты, например, могут менять вкус, запах и цвет при облучении даже в дозах 0,5 кГр. Более эффективным в ряде случаев является сочетание ионизирующего излучения с воздействием температуры.

Замораживание оказывает защитное влияние во время облучения, предупреждая образование продуктов водного радиолитического распада, которые образуются в результате реакции с субстратом. При нагревании эти продукты (гидроксильные радикалы) имеют тенденцию реагировать преимущественно друг с другом, а не с субстратом, так что опасность для последнего обычно уменьшается, когда производят облучение замороженной пищи. Анаэробные условия также влияют на природу радиолитических продуктов, поскольку присутствие кислорода во время облучения может генерировать высокореактивные супероксидные радикалы и пероксид-радикалы и пероксид водорода.

При длительном хранении облученного мяса в условиях низких положительных температур одной из основных причин его порчи являются процессы протеолиза (Чиж, 2011), особенно сильно проявляющиеся, если использовались дозы облучения, приводящие к ограниченному подавлению патогенных для человека микроорганизмов (радуризация). Применение высоких доз радиации нецелесообразно, так как, обеспечивая полное обеззараживание мяса и мясных продуктов, не приводит к инактивации тканевых катепсинов, зато вызывает ухудшение органолептических показателей, появлению запаха облучения и возможности наведенной радиации. Снижение дозы может вызвать формирование радиорезистентных форм микроорганизмов. Снизить или стабилизировать активность протеаз при облучении в режиме радуризации можно при дополнительном использовании химических веществ, обладающих радиопротекторными и антиоксидантными свойствами. Например, если измельчить мышечную ткань свинины, обработать ее раствором 40 % этанола, а затем пучком быстрых электронов с последующим добавлением в фарш 0,12 % аскорбиновой кислоты, то можно снизить дозу облучения до 12,5 кГр, при этом свести к минимуму остаточную обсемененность, инициировать реконструктивно-ассоциативные процессы в мышечном волокне и продлить анаэробное хранение свежих мясных полуфабрикатов при низких положительных температурах до трех месяцев с сохранением качества (Орехова, 2014). Недостатком этого метода является введение в фарш посторонних веществ, что в любом случае отражается на его свойствах и при-

водит к изменению органолептических показателей изготовленных из него продуктов. Например, обработка охлажденной свиной шейки на кости методом ионизации в дозе 8 кГр приводит к снижению микробиологической обсемененности без изменения органолептических показателей и ее можно рекомендовать для продления срока хранения мясных полуфабрикатов. Повышение дозы облучения до 12 кГр вызывает изменение цвета и появление незначительного шлейфа окисления, увеличение кислотного и перекисного чисел жира, выделяемого из мясного сырья, хотя и в пределах нормы (Timakova, 2018).

Кроме того, с увеличением дозы облучения усиливается процесс водного радиолитического распада. Начальные продукты, связанные с радиолитическим (перекисные радикалы, перекись водорода, гидроперекиси) обладают высокой химической активностью. Они стремятся быстро исчезнуть, особенно в водной среде. Образовавшиеся свободные радикалы могут инициировать большое количество реакций окислительного распада. Даже в составе сухих продуктов, таких, как специи, радикалы быстро реагируют с образованием стабильных радиолитических продуктов, когда сухие продукты добавляют в продукты, содержащие большое количество влаги. Радиолитическая активность белков и углеводов осуществляется главным образом через воду и потому является не прямой. Радиолитический эффект жиров прямой и заключается в образовании катионов или возбужденных молекул. Наличие белков или углеводов снижает количество радиолитических продуктов, образованных из жиров. Облучение может повреждать и микронутриенты пищи.

В научной литературе обычно приводятся дозы, рекомендованные для радиационной обработки того или иного продукта. На практике важно знать оптимальные параметры обработки (энергию электронного пучка, ток электронного пучка, продолжительность воздействия), приводящие к максимальному биологическому эффекту, но не вызывающие нежелательных изменений свойств нутриентов, а также водного радиолитического распада. Особенно это важно, когда реализуется обработка объектов в непрерывном режиме при движении ленты транспортера через зону облучения и затем обработанные продукты (или пищевое сырье) закладываются на хранение или помещаются в контейнеры для транспортировки. Обработка в непрерывном режиме с использованием пучка быстрых электронов или электронно-плазменного воздействия является перспективным методом обеззараживания для создания промышленных

центров антимикробной обработки продуктов, организации автоматизированного процесса стерилизации на погрузочно-разгрузочных работах, исключающий необходимость переупаковывать и перефасовывать стерилизуемый материал (Дубровин, 2014).

При проведении экспериментов по электронно-плазменной обработке питьевой воды, сметаны и творожных масс режимы подбирались с учетом того, чтобы в результате максимального воздействия на микроорганизмы обработка не снижала качества продукта (оставалась неизменной консистенции и цвет продукта). В экспериментах использовался стационарный электронный пучок с энергией 0,4 МэВ. В методе электронно-плазменной обработки воздействие на облучаемый образец вызывается двумя процессами: поверхностное воздействие ионами, возбужденными атомами и радикалами молекул газов и непосредственное воздействие быстрыми электронами пучка на внутренние слои обрабатываемого образца, приводящее к ионизации, возбуждению и диссоциации молекул мишени на глубине, определяемой длиной пробега электронов в данной среде. Эти два процесса дают возможность реализации эффективных технологий для отработки пищевых продуктов при низких энергетических затратах. Используемый в экспериментах промышленный ускоритель может выдавать ток 40 мА, а при соответствующей доработке до 50 мА. При переходе на большие токи необходимо в соответствующее число раз уменьшить время экспозиции. Длина пробега электронов с энергией 0,4 МэВ составляет 1,2 мм. Для достижения относительной равномерности дозы по глубине облучаемый слой должен быть несколько меньше длины пробега электронов. В этой связи слой обрабатываемых жидких продуктов (вода, сметана) составлял 1,0 мм, а творога – 2 мм при условии двукратной обработки с двух сторон. Результаты экспериментов приведены в табл. 3.

Из таблицы видно, что при использовании электронного пучка с энергией 0,4 МэВ в процессе электронно-плазменной обработки достаточно воздействия в течение 1-2 мин для инактивации микроорганизмов вида *Escherichia coli* и уменьшения на несколько порядков количества других микроорганизмов в молочных продуктах и питьевой воде.

Эти результаты можно использовать для создания инновационных технологий ресурсосбережения в сельском хозяйстве и в пищевой промышленности путем разработки автоматизированных систем стерили-

Таблица 3

Микробиологическая обсемененность питьевой воды и молочных продуктов до и после электронно-плазменного воздействия

№	Продукт	Режимы электронно-плазменной обработки			Результаты микробиологических исследований	
		I, мА	Энергия пучка, (МэВ)	Экспозиция, (мин)	Общее количество м/о в 1 мл	Наличие E.coli в 1 г
1	Вода питьевая контроль				14·10 ⁴	+++
2	Вода после обработки	0,3	0,4	20	170	отсутствует
		0,3	0,4	1	23·10 ²	отсутствует
3	Творог - контроль				93·10 ⁵	+++++
4	Творог после обработки	0,6	0,4	0,5	1260	отсутствует
		0,6	0,4	2	1830	отсутствует
		0,6	0,4	3	505	отсутствует
		0,6	0,4	5	1090	отсутствует
		0,6	0,4	15	8	отсутствует
5	Сметана - контроль				12·10 ⁵	+++++
6	Сметана после обработки	0,6	0,4	0,5	12,9·10 ³	+++
		0,6	0,4	2	800	отсутствует

Примечания.* Приведены усредненные значения по результатам четырехкратных повторностей эксперимента

лизации сырья и готовой продукции. Обработку продукции пучком электронов необходимо проводить в соответствии с разработанным технологическим режимом и требуемой дозой облучения.

Использование ускоренных электронов в общем технологическом процессе обработки пищевых продуктов возможно в тех местах, где эти продукты в потоке движения имеют небольшую толщину. Обработка пищевых продуктов быстрыми (ускоренными) электронами в условиях производства не должна нарушать общего технологического процесса, условия работы персонала и его полную безопасность.

Выводы

С экономической точки зрения воздействие быстрыми (ускоренными) электронами является наиболее дешевым способом обработки с использованием ионизирующего излучения. Дозы воздействия в пределах от 0,3 до 0,5 кГр достаточно для того, чтобы убить личинки насекомых-вредителей в продуктах растительного и животного происхождения. Использование облучения быстрыми электронами в диапазоне доз от 2 до 4 кГр позволяет инактивировать болезнетворные микроорганизмы и увеличить срок хранения продовольственных товаров без ухудшения пищевой ценности и органолептических свойств.

Помимо дозы, значительное воздействие на результаты процесса обработки оказывают температура, физическое состояние пищи, химический состав окружающей газовой среды. Из всех видов ионизирующего излучения, используемых для обработки продовольственных товаров, ускоренные электроны обладают наименьшей проникающей способностью. В связи с этим ускоренными электронами наиболее целесообразно обрабатывать сыпучие продукты и полуфабрикаты при двухстороннем облучении продуктов в неупакованном или упакованном виде, если толщина обрабатываемого слоя не превышает 4-5 см.

Литература

- Ауслендер, В. Л., Безуглов, В. В., Брызгин, А. А., Воронин, Л. А., Горбунов, В. А., Панфилов, А. Д., Подобаев, В. С., Радченко, В. М., Ткаченко, В. О., Факторович, Б. Л., Ческидов, В. Г., & Штарклев, Е. А. (2009). Импульсный высокочастотный линейный ускоритель электронов ИЛУ-8. *Приборы и техника эксперимента*, 3, 98-103.
- Гомбоева, С. В., Бадмаева, И. И., Балданов, Б. Б., Ранжуров, Ц. В., & Николаев, Э. О. (2017). Влияние низкотемпературной плазмы на продукты растительного происхождения. *Технология производства пищевых продуктов*, 46(3), 123-133.

- Дубровин, А. В. (2014). Обеззараживание кормов быстрыми пучками электронов. *Вестник ВНИИМЖ*, 1(13), 72-81.
- Журавская, А. Н. (2016). Биологические эффекты малых доз ионизирующих излучений (обзор). *Наука и образование*, 2, 94-102.
- Закладной, Г. А. (2002). Теоретические основы понятия ресурса и его практическое значение в защите зерна и зернопродуктов от вредителей зерновых запасов. *Хранение и переработка сельскохозяйственной сырья*, 2, 17-20.
- Зимняков, В. М. (2018). Состояние и перспективы производства яичного порошка. *Нива Поволжья*, 1(46), 21-28.
- Мешков, И. Н., Сидорин, А. О., Селезнев, И. А., Смирнов, А. В., Сыресин, Е. М., & Трубников Г. В. (2005). Модифицированный бетатрон. *Физика элементарных частиц и атомных ядер*, 36(5), 1071-1132.
- Орехова, С. М., & Нечипоренко, А. П. (2014). Радуризация мышечной ткани свинины. *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств*, 1.
- Павлов, У. С., Петров, А. Н., Тришканева, М. В., Федянина, Н. И., Мишуков, Н. П., & Неменущая, Л. А. (2019). Радиационные методы в обработке сельскохозяйственных культур: научный аналитический обзор. *Росинформагротех*.
- Персинен, А. А. (2007). Технология пиковых волн. *Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета)*, 2(28), 41-45.
- Полякова, И. В., Кобялко, В. О., Саруханов, В. У., Козьмин, Г. В., Фролова, Н. А., Лыков, И. Н., & Воронин, Л. А. (2017). Исследование эффективности холодной стерилизации рыбных консервов электронным излучением в зависимости от дозиметрических параметров облучения. *Радиация и риск*, 26(2), 97-106.
- Семенов, А. П., Балданова, Б. Б., Ранжуров, С. В., Норбоев, Ч. Н., Намсараев, Б. Б., Дамбаев, В.Б., Гомбоева, С.В., & Абидуева Л.Р. (2014). Влияние низкотемпературной аргоновой плазмы слаботоковых высоковольтных разрядов на микроорганизмы. *Прикладная физика*, 3, 47-49.
- Чиж, Т. В., Козьмин, Г. В., Полякова, Л. П., & Мельникова, Т. В. (2011). Радиационная обработка как технологический прием в целях повышения уровня продовольственной безопасности. *Вестник Российской Академии Естественных наук*, 4, 44-49.
- Asghar, A., & Abbas, M. (2012). Dried egg powder utilization, a new frontier in bakery products. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 3(12), 493-505.
- Bereda, A., Eshetu, M., & Yilma, Z. (2014). Microbial properties of Ethiopian dairy products: A review. *African Journal of Microbiology Research*, 8(23), 2264-2271. <https://doi.org/10.5251/abjna.2012.3.12.493.505>.
- Calkins, J. (2008). The lethal effects of radiation on six species of Protozoa. *Photochemistry and Photobiology*, 3(2), 143-151. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.1964.tb07863.x>.
- Chung, B. Y., Lee, Y.-B., Baek, M.-H., Kim, J.-H., Wi, S. G., & Kim, J.-S. (2006). Effects of low-dose gamma-irradiation on production of shikonin derivatives in callus cultures of *Lithospermum erythrorhizon*. *Radiation Physics and Chemistry*, 75(9), 1018-1023. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2005.11.001>.
- Corde, S., Thauray, C., Phuoc, K. Ta, Lifschitz, A., Lambert, G., Lundh, O., Brijesh, P., Arantchuk, L., Sebban, S., Rousse, A., Faure, J., & Malka, V. (2012). Betatron emission as a diagnostic for injection and acceleration mechanisms in laser-plasma accelerators. *Plasma Physics and Controlled Fusion*, 54(12), 1-8. <https://doi.org/10.1088/0741-3335/54/12/124023>.
- Daher, N. S., & Simard, R. E. (1985). Putrefactive Amine Changes in Relation to Microbial Counts of Ground Beef During Storage. *Journal of Food Protection*, 48(1), 54-58.
- Dave, D., & Ghaly, A. E. (2011). Meat Spoilage Mechanisms and Preservation Techniques: A Critical Review *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 6(4), 486-510. <https://doi.org/10.3844/ajabssp.2011.486.510>.
- Deepak, K., & Prasanta, K. (2017). Reducing Postharvest Losses during Storage of Grain Crops to Strengthen Food Security in Developing Countries. *Foods*, 6(1), 8. <https://doi.org/10.3390/foods6010008>.
- Daher, N. S., & Simard, R. E. (1985). Putrefactive Amine Changes in Relation to Microbial Counts of Ground Beef During Storage. *Journal of Food Protection*, 48(1), 54-58.
- Dave, D., & Ghaly, A. E. (2011). Meat Spoilage Mechanisms and Preservation Techniques: A Critical Review *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 6(4), 486-510. <https://doi.org/10.3844/ajabssp.2011.486.510>.
- Gabarty, A., & Salwa Abou El Nour. (2016). Impact of Wheat Flour Infestation by some Insects on its Quantity and Quality Loss, Fungal Contamination and Mycotoxins. *International Journal of Agriculture and Biology*, 18(6), 1122-1130. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0233>.
- Garcia-Marquez, J., Cambero, M. I., Ordonez, J. A., & Cabeza, M. C. (2011). Shelf-life extension and

- sanitation of fresh pork loin by E-beam treatment. *Journal of Food Protection*, 75(12), 2179-2189.
- Gheisari, H. R., Aminlari, M., Sabbagh, N., & Moraveji, M. (2014). Chemical and microbiological changes during ripening of Iranian salt-substituted probiotic white cheese. *Journal of Food Science and Technology*, 6(2), 102-115.
- Keener, K. M. (2017). Shell egg pasteurization. In P. Hester (Ed.), *Egg Innovations and Strategies for Improvements* (pp.165-175). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800879-9.00016-0>
- Laslo, E., & Gyorgy, E. (2018). Evaluation of the microbiological quality of some dairy products. *Acta Universitatis Sapientiae, Alimentaria*, 11, 27-44. <https://doi.org/10.2478/ausal-2018-0002>.
- Lee, H. S., Kwon, M., Heo, S., & Kim, G.-B. (2017). Characterization of the Biodiversity of the Spoilage Microbiota in Chicken Meat Using Next Generation Sequencing and Culture Dependent Approach. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 37(4), 535-541. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2017.37.4.535>.
- Lee, J., Lee, C. W., Yong H. I., Lee, H. J., Jo, C., & Jung, S. (2017). Use of Atmospheric Pressure Cold Plasma for Meat Industry. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 37(4), 477-485. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2017.37.4.477>.
- Martins, M. N., & Silva, T. F. (2014). Electron Accelerators: history, applications, and perspectives. *Radiation Physics and Chemistry*, 95, 78-85. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2012.12.008>.
- Misra, N. N., Tiwari, B. K., Raghavarao, K., & Cullen, P. J. (2011). Nonthermal Plasma Inactivation of Food-Borne Pathogens. *Food Engineering Reviews*, 3(3-4), 159-170. <https://doi.org/10.1007/s12393-011-9041-9>.
- Ogerdegbe, A., & Edoreh, J. A. (2014). An Evaluation of Infestation of Insect Pests of Flours in Benin City, Edo State, Nigeria. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 18(3), 487-494.
- O'Keefe, T. (2013). USDA develops new shell egg pasteurization process. *Egg Industry*, 118(6), 10-13.
- Rochanabanthit, P., & Jompuk, P. (2014) Effects of chronic gamma irradiation on shallot chromosomes (*Allium ascalonicum* Linn). *ARP Journal of Agricultural and Biological Science*, 9(11), 367-374.
- Perić, L., Rodić, V., & Milošević N. (2011). Production of poultry meat and eggs as functional food: Challenges and opportunities. *Biotehnologija in Animal Husbandry*, 27, 511-520. <https://doi.org/10.2298/BAH1103511P>
- Timakova, R. T., Tikhonov, S. L., Tikhonova, N. V., Gorlov, I. F. (2018). Effect of various doses of ionizing radiation on the safety of meat semi-finished products. *Foods and Raw materials*, 6(1), 120-127. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-120-127>.
- Yokota, Y., Yamada, S., Hase, Y., Shikazono, N., Narumi, I., Tanaka, A., & Inoue, M. (2007). Initial yields of DNA double-strand breaks and DNA fragmentation patterns depend on linear energy transfer in tobacco BY-2 protoplasts irradiated with helium, carbon and neon ions. *Radiation Research*, 167(1), 94-101.

Efficiency of the Fast Electron Exposure Method for Reducing Spoilage of Food Raw Materials and Food Products During Storage and Transportation

Iosif A. Rogov¹, Urishbaj Ch. Chomanov², Tatiana N. Danilchuk¹

¹ *Moscow State University of Food Production*

² *Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry*

Correspondence concerning this article should be addressed to Tatiana N. Danilchuk, Moscow State University of Food Production, 11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation. E-mail: danilchuktn@mgupp.ru

Actual and not yet fully resolved at present is the problem of reducing the loss of food raw materials and food products during transportation and storage, reducing the quality of products as a result of infection by insects and microorganisms, spoiling the products by rodents. The use of traditional methods of disinfection, pest and disinfestation is not always sufficient for complete disinfection, and sometimes impractical, and requires the use of alternative methods, such as exposure to electromagnetic fields of different frequency ranges. Of the entire spectrum of electromagnetic waves, researchers especially distinguish ionizing radiation that can kill or modify plant cells, fragment DNA. This property of ionizing radiation can be used to combat microorganisms, insects, helminths and rodents. This work is a development of the scientific ideas of Academician J.A. Rogova in the use of ionizing radiation for the processing of agricultural raw materials and food. The article presents the results of experiments on fast processing of food raw materials and products infected with microorganisms and insects. For various objects of study, exposure doses were determined that cause a good biological effect, but do not lead to the destruction of biopolymers. It is shown that in addition to the dose, other factors have a significant effect on the results of the processing process, for example, temperature and physical condition of food. Freezing has a protective effect during irradiation, preventing the formation of products of aqueous radiolysis, which are formed as a result of reaction with the substrate. When heated, these products (hydroxyl radicals) tend to react predominantly with each other and not with the substrate, so the danger to the latter usually decreases when irradiated frozen food. Anaerobic conditions also affect the nature of radiolytic products, since the presence of oxygen during irradiation can generate highly reactive superoxide radicals and peroxy radicals and hydrogen peroxide. A comparative analysis of the effects of various doses of radiation on products of plant and animal origin is carried out. The efficiency and economic feasibility of using fast electron processing to reduce microbial spoilage and insect infestation of food raw materials and food products, as well as to increase shelf life of products, is shown.

Keywords: microorganisms, food raw materials, ionizing radiation, fast electrons

References

- Auslender, V. L., Bezuglov, V. V., Bryazgin, A. A., Voronin, L. A., Gorbunov, V. A., Panfilov, A. D., Podobaev, V. S., Radchenko, V.M., Tkachenko, V.O., Faktorovich, B.L., Cheskidov, V.G., & Starklev, E.A. (2009). Pulsed high-frequency linear electron accelerator ILU-8. *Pribory i tekhnika eksperimenta* [Devices and techniques of experiment], 3, 98-103.
- Gomboeva, S. V., Badmayeva, I. I. & Baldanov, B. B. (2017). Impact of low-temperature plasma on products of plant origin. *Pribory i tekhnika eksperimenta* [Experimental devices and techniques], 46(3), 123-133.
- Dubrov, A. V. (2014). Decontamination of feed with fast electron beams. *Vestnik VNIIMZH*, [Bulletin of VNIIMZH], 1(13), 72-81.
- Zhuravskaya, A. N. (2016). Biological effects of low doses of ionizing radiation (review). *Nauka i obrazovanie* [Science and education], 2, 94-102.
- Zakladnoj, G. A. (2002). Theoretical bases of the concept of resource and its practical value in the protection of grain and grain products against pests of grain stocks. *Hranenie i pererabotka*

- sel'skohozyajstvennoj produkcii* [Storage and processing of agricultural products], 2, 17-20.
- Zimnyakov, V. M. (2018). The state and prospects of production of egg powder. *Niva Povolzh'ya* [Niva of the Volga Region], 1(46), 21-28.
- Meshkov, I. N., Sidorin, A. O. & Seleznev, I. A. (2005) Modified betatron. *Fizika elementarnykh chastic i atomnykh yader* [Physics of elementary particles and atomic nuclei], 36(5), 1071-1132.
- Orekhova, S. M., & Nechiporenko, A. P. (2014). Radurization of pork muscle tissue. *Nauchnyj zhurnal NII ITMO. Seriya: Processy i apparaty pishchevykh proizvodstv* [Scientific journal of the ITMO research INSTITUTE. Series: processes and devices of food production], 1, 31.
- Pavlov, W. S., Petrov, A. N., Trishkaneva, M. V., Fedyanina, N. A. Misurov, N. P., & Nemerova, L.A. (2019). *Radiacionnye metody v obrabotke sel'skohozyajstvennykh kul'tur: nauchnyj analiticheskij obzor* [Radiation methods in processing of agricultural crops: Scientific Analysis. Review], FEDERAL state budgetary scientific institution "of Rosinformagrotekh".
- Persinen, A. A. (2007). Peak-Wave technology. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo instituta (tekhnicheskogo universiteta)* [News of the Saint Petersburg State Technological Institute (technical University)], 2(28), 41-45.
- Polyakova, I. V., Kobyalko, V. O., Sarukhanov, V. U., Kozmin, G. V., Frolova, N. A., Lykov, I. N. & Voronin, L. A. (2017). The Study of the effectiveness of cold sterilization of fish preserves by electronic radiation depending on the dosimetric parameters of irradiation. *Radiatsiya i risk* [Radiation and risk], 26(2), 97-106.
- Semenov, A. P., Baldanova, B. B., Ranzhurov, S. V., Norboev, CH. N., Namsaraev, B. B. and others. (2014). Effect of low-temperature argon plasma of low-current high-voltage discharges on microorganisms. *Prikladnaya fizika* [Applied physics], 3, 47-49.
- Chizh, T. V., Kozmin, G. V., Polyakova, L. P. & Melnikova, T. V. (2011). Radiation treatment as a technological technique for improving food security. *Vestnik Rossijskoj Akademii Estestvennykh nauk* [Bulletin of the Russian Academy of Natural Sciences], 4, 44-49.
- Asghar, A., & Abbas, M. (2012). Dried egg powder utilization, a new frontier in bakery products. *Agriculture and Biology Journal of North America*, 3(12), 493-505.
- Bereda, A., Eshetu, M., & Yilma, Z. (2014). Microbial properties of Ethiopian dairy products: A review. *African Journal of Microbiology Research*, 8(23), 2264-2271. <https://doi.org/10.5251/abjna.2012.3.12.493.505>.
- Calkins, J. (2008). The lethal effects of radiation on six species of Protozoa. *Photochemistry and Photobiology*, 3(2), 143-151. <https://doi.org/10.1111/j.1751-1097.1964.tb07863.x>.
- Chung, B. Y., Lee, Y-B., Baek, M.-H., Kim, J.-H., Wi, S. G., & Kim, J.-S. (2006). Effects of low-dose gamma-irradiation on production of shikonin derivatives in callus cultures of *Lithospermum erythrorhizon*. *Radiation Physics and Chemistry*, 75(9), 1018-1023. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2005.11.001>.
- Corde, S., Thauray, C., Phuoc, K. Ta, Lifschitz, A., Lambert, G., Lundh, O., Brijesh, P., Arantchuk, L., Sebban, S., Rousse, A., Faure, J., & Malka, V. (2012). Betatron emission as a diagnostic for injection and acceleration mechanisms in laser-plasma accelerators. *Plasma Physics and Controlled Fusion*, 54(12), 1-8. <https://doi.org/10.1088/0741-3335/54/12/124023>
- Daher, N. S., & Simard, R. E. (1985). Putrefactive Amine Changes in Relation to Microbial Counts of Ground Beef During Storage. *Journal of Food Protection*, 48(1), 54-58.
- Dave, D., & Ghaly, A. E. (2011). Meat Spoilage Mechanisms and Preservation Techniques: A Critical Review *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 6(4), 486-510. <https://doi.org/10.3844/ajabssp.2011.486.510>
- Deepak, K., & Prasanta, K. (2017). Reducing Postharvest Losses during Storage of Grain Crops to Strengthen Food Security in Developing Countries. *Foods*, 6(1), 8. <https://doi.org/10.3390/foods6010008>
- Daher, N. S., & Simard, R. E. (1985). Putrefactive Amine Changes in Relation to Microbial Counts of Ground Beef During Storage. *Journal of Food Protection*, 48(1), 54-58.
- Dave, D., & Ghaly, A. E. (2011). Meat Spoilage Mechanisms and Preservation Techniques: A Critical Review *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 6(4), 486-510. <https://doi.org/10.3844/ajabssp.2011.486.510>.
- Gabarty, A., & Salwa Abou El Nour. (2016). Impact of Wheat Flour Infestation by some Insects on its Quantity and Quality Loss, Fungal Contamination and Mycotoxins. *International Journal of Agriculture and Biology*, 18(6), 1122-1130. <https://doi.org/10.17957/IJAB/15.0233>.
- Garcia-Marquez, J., Cambero, M. I., Ordonez, J. A., & Cabeza, M. C. (2011). Shelf-life extension and sanitation of fresh pork loin by E-beam treatment. *Journal of Food Protection*, 75(12), 2179-2189.
- Gheisari, H. R., Aminlari, M., Sabbagh, N., & Moraveji, M. (2014). Chemical and microbiological changes during ripening of Iranian salt-substituted

- probiotic white cheese. *Journal of Food Science and Technology*, 6(2), 102-115.
- Keener, K. M. (2017). Shell egg pasteurization. In P. Hester (Ed.), *Egg Innovations and Strategies for Improvements* (pp.165-175). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800879-9.00016-0>
- Laslo, E., & Gyorgy, E. (2018). Evaluation of the microbiological quality of some dairy products. *Acta Universitatis Sapientiae, Alimentaria*, 11, 27-44. <https://doi.org/10.2478/ausal-2018-0002>.
- Lee, H. S., Kwon, M., Heo, S., & Kim, G.-B. (2017). Characterization of the Biodiversity of the Spoilage Microbiota in Chicken Meat Using Next Generation Sequencing and Culture Dependent Approach. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 37(4), 535–541. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2017.37.4.535>.
- Lee, J., Lee, C. W., Yong H. I., Lee, H. J., Jo, C., & Jung, S. (2017). Use of Atmospheric Pressure Cold Plasma for Meat Industry. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 37(4), 477-485. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2017.37.4.477>.
- Martins, M. N., & Silva, T. F. (2014). Electron Accelerators: history, applications, and perspectives. *Radiation Physics and Chemistry*, 95, 78-85. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2012.12.008>.
- Misra, N. N., Tiwari, B. K., Raghavarao, K., & Cullen, P. J. (2011). Nonthermal Plasma Inactivation of Food-Borne Pathogens. *Food Engineering Reviews*, 3(3-4), 159-170. <https://doi.org/10.1007/s12393-011-9041-9>.
- Ogerdegbe, A., & Edoreh, J. A. (2014). An Evaluation of Infestation of Insect Pests of Flours in Benin City, Edo State, Nigeria. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 18(3), 487-494.
- O'Keefe, T. (2013). USDA develops new shell egg pasteurization process. *Egg Industry*, 118(6), 10-13.
- Rochanabanthit, P., & Jompuk, P. (2014) Effects of chronic gamma irradiation on shallot chromosomes (*Allium ascalonicum* Linn). *ARPN Journal of Agricultural and Biological Science*, 9(11), 367-374.
- Perić, L., Rodić, V., & Milošević N. (2011). Production of poultry meat and eggs as functional food: Challenges and opportunities. *Biotehnologija in Animal Husbandry*, 27, 511-520. <https://doi.org/10.2298/BAH1103511P>
- Timakova, R. T., Tikhonov, S. L., Tikhonova, N. V., Gorlov, I. F. (2018). Effect of various doses of ionizing radiation on the safety of meat semi-finished products. *Foods and Raw materials*, 6(1), 120-127. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-120-127>.
- Yokota, Y., Yamada, S., Hase, Y., Shikazono, N., Narumi, I., Tanaka, A., & Inoue, M. (2007). Initial yields of DNA double-strand breaks and DNA fragmentation patterns depend on linear energy transfer in tobacco BY-2 protoplasts irradiated with helium, carbon and neon ions. *Radiation Research*, 167(1), 94-101.

Методы оценки защитных полимерных покрытий, предназначенных для контакта с пищевыми продуктами

Фролова Юлия Владимировна

ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»

Корреспонденция, касающаяся этой статьи, должна быть адресована Фроловой Ю.В., ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», адрес: 109240, г. Москва, Устьинский проезд, дом 2/14. E-mail: himic14@mail.ru

Пищевая продукция подвержена воздействию микроорганизмов порчи, как в процессе производства, так и при хранении. Создание защитных полимерных покрытий направлено на разработку материалов-покрытий, способных обеспечивать качество и безопасность упакованной пищевой продукции. Современные защитные покрытия являются многокомпонентными системами, содержащими в своем составе в качестве основы высокомолекулярные соединения и модифицирующие добавки, для придания специальных свойств, в том числе антимикробных. В настоящее время большое распространение получили покрытия, формируемые из растворов полимеров, одним из недостатков которых является высокая проницаемость, по сравнению с покрытиями на основе дисперсий полимеров. В работе были получены модельные образцы пленок на основе дисперсий сополимера винилацетата методом свободного полива. Проведены стандартные органолептические и санитарно-химические исследования миграции низкомолекулярных компонентов покрытий в модельные среды. Время экспозиции составляло 10 суток при комнатной температуре. Оценена токсичность мигрировавших компонентов из покрытия в модельную среду методом биологической оценки на инфузориях и фитотестированием на семенах двудольных растений. Оценены сорбционные свойства полученных покрытий. В результате проведенных исследований установлено соответствие покрытий на основе дисперсий органолептическим и санитарно-химическим показателям. Выявлено влияние модифицирующих добавок, введенных в покрытия, и способных мигрировать в модельную среду на жизнедеятельность инфузорий в условиях оценки острой – время экспозиции до 6 часов и хронической токсичности – 96 часов. Получены данные степени развития и скорости прорастания семян растений, на вытяжках из полимерных покрытий.

Ключевые слова: безопасность, пищевая продукция, хранение, санитарно-химические показатели, фитотестирование, полимерные покрытия, упаковка

Введение

Пищевая продукция – это многокомпонентные активные системы, в которых протекают микробиологические, энзиматические и физико-химические реакции, влияющие на вкус текстуру и срок годности продукта. Протекание данных реакций приводит к ухудшению потребительских свойств и потерям продукции (Ермоленко, 2018; Sharma, 2019). Для повышения стабильности пищевой продукции, сохранения органолептических свойств, обеспечения безопасности и минимизации потерь разрабатываются новые упаковочные материалы (Розалёнок, 2014; Huang, 2019; Rojas, 2019). Применение упаковки обуславливает защиту пи-

щевой продукции от воздействия окружающей среды, обеспечивает качество и безопасность продукции, увеличивает срок годности и минимизирует потери продукции и отходы (Ухарцева, 2019; Raheen, 2013; Ahmed, 2017; Han, 2018; Olantude, 2019). Широкое распространение в области упаковки получили полимерные пленки на основе полиэтилентерефталата, полиэтилена, полипропилена и композиционные материалы на их основе (Бокова, 2018; Chen, 2019; Kirsh, 2020). Данный тип упаковки обеспечивает сохранность пищевой продукции за счет хороших прочностных свойств, однако имеются и недостатки: для обеспечения упакованной продукции защиты от микробиологической порчи необходимо модифицировать по-

лимерный состав антимикробными добавками (Фролова, 2017b; Bugatti, 2019); после использования упаковка на основе полиолефинов подвержена длительному разрушению в окружающей среде, что сказывается на экологическом аспекте ее использования (Alabi, 2019).

В настоящее время, наравне с исследованиями и разработками упаковочных материалов развивается направление создания защитных полимерных покрытий, которые наносятся непосредственно на поверхность пищевого продукта (Dehghani, 2018; Dominguez, 2018; Jeevahan, 2019). Защитные полимерные покрытия являются многокомпонентными системами, состоящими из основы – высокомолекулярных соединений и вспомогательных компонентов функционального назначения. В настоящее время большое внимание уделяется исследованиям покрытий на основе полисахаридов и его комбинаций с другими полимерами (Cazon, 2017), при этом в литературе имеются единичные статьи о применении водных коллоидных дисперсий (латексов) в качестве полимерных покрытий для пищевой продукции. Преимуществами покрытий являются: использование биологически безопасных водных систем в качестве пленкообразователей (поливиниловый спирт (Gaikwad, 2016), полисахариды (Wu, 2016; Ren, 2017; Mujtaba, 2019), полимерные дисперсии (Федотова, 2013) и т.д.); простота нанесения покрытий на поверхность продукта без применения высокотемпературной обработки; возможность нанесения пленкообразующего состава на поверхность любой формы и формированием покрытия на продуктах при низких температурах, в том числе и при комнатной температуре; формирование плотного и повсеместного прилегания покрытия к поверхности продукта без образования воздушной прослойки – потенциальной области развития микрофлоры; возможность варьирования функций покрытий за счет введения в состав добавок различной природы.

Использование полимерных материалов, в том числе покрытий, в контакте с пищевыми продуктами, определяются многими параметрами, в первую очередь санитарно-гигиеническими нормами, определяющими миграцию веществ из материалов (Ухарцева, 2020). При этом мигрирующие вещества: не должны быть токсичными и оказывать вредное воздействие на потребителей; не должны вступать в химические реакции с пищевой продукцией, изменять запах и вкус пищевых продуктов, за исключением случаев целенаправленной модификации упаковки для изменения органолептических показателей, упакованной пищи. Также упаковочные материалы (покрытия) должны за-

щищать продукт от потери массы, обеспечивать сохранение формы, обладать достаточной прочностью и эластичностью и т.д. Предъявляемый комплекс свойств к упаковочным материалам, в том числе и покрытиям, требует определенной системы методов для проведения исследований свойств материалов, предназначенных для контакта с пищевыми продуктами. В связи с этим целью данной работы являлось на примере покрытий, формируемых из водных дисперсий полимеров, провести комплексное исследование, как свойств дисперсий, так и свойств получаемых покрытий, и сформулировать основные этапы проведения комплексной оценки пищевых покрытий.

Материалы и методы

Материалы

В качестве объектов исследования использовали пленкообразующие дисперсные системы: дисперсию на основе сополимера винилацетата и винилверсатата S-320В (производство «Кубань Полимер») далее по тексту 320В и дисперсию сополимера винилацетата с дибутилмалеинатом ДПМС 5035В (производство «Nord-sintez») далее по тексту 5035В. Все химические реактивы для анализов использовались со степенью чистоты не ниже ч.д.а. Для биологической оценки использовали культуру инфузорий *Paramecium caudatum* и плазменные семена огурцов (Агроника, Россия).

Оборудование

На разных этапах исследования применялось следующее оборудование: вискозиметр ВЗ-4 (Россия), тензиометр типа дю Нуи (Россия), аналитические весы с точностью 0,0001 г (Россия); сушильный шкаф с поддерживаемой температурой 250°C; рН метр 150МИ (Россия); анализатор размеров частиц лазерный Nanotrac, модификации Zetatrac (Microtrac, США); микрометр (Россия); торсионные весы (Россия); спектрофотометр Unico 1201; разрывная машина РМ-50 (Россия); хроматограф «Хроматэк – Кристалл 5000»; микроскоп биологический исследовательский МБИ-1.

Методы

Методы определения коллоидно-химических свойств полимерных дисперсий

- условная вязкость (ГОСТ 8420-74);
- поверхностное натяжение методом отрыва кольца на тензиометре типа дю Нуи (ГОСТ 20216-83);

- краевой угол смачивания методом «неподвижная капля»;
- содержание сухого вещества полимерных дисперсий – гравиметрическим методом (ГОСТ 25709-83);
- размер частиц дисперсной фазы методом динамического лазерного светорассеяния;¹
- концентрация водородных ионов pH (ГОСТ 22567.5-93).

Методы определения санитарно-химических показателей пленок, полученных из дисперсий полимеров

- толщина пленок (ГОСТ 17035-86);
- органолептические исследования водных вытяжек из пленок (Инструкция №880-71; ТР ТС 005/2011);
- определение бромирующихся веществ в водных вытяжках (Инструкция №880-71);
- определение содержания формальдегида в водных вытяжках колориметрическим методом (ГОСТ 22648-77);
- определение содержания винилацетата в водных вытяжках меркуриметрическим методом (ГОСТ 22648-77);
- определение содержания ацетальдегида в водных вытяжках методом капиллярной газовой хроматографии (МУК 4.1.3171-14).

Методы биологической оценки мигрировавших компонентов из пленок в модельную среду

- определение токсичности компонентов водных вытяжек из пленок на инфузориях (Методическими указаниями к проведению биологической и санитарно – гигиенической оценки полимерных материалов и химических веществ);
- определение токсичности компонентов водных вытяжек из пленок на проростках семян двудольных растений (Методическими указаниями к проведению биологической и санитарно – гигиенической оценки полимерных материалов и химических веществ; ГОСТ 12038-84).

Методы оценки деформационно-прочностных и сорбционных показателей пленок

- паропроницаемость пленок проводили гравиметрическим методом (ГОСТ 21472-81);
- водопоглощение пленок (ГОСТ 12020-72);
- жиростойкость пленок по специальной методике;
- определение разрушающего напряжения и относительного удлинения при разрыве (ГОСТ 14236-81).

Методика исследования

Определение коллоидно-химических показателей полимерных дисперсий

Исследования коллоидно-химических свойств полимерных дисперсий проводили по следующим показателям: условная вязкость, поверхностное натяжение, краевой угол смачивания, содержание сухих веществ, размер частиц дисперсной фазы, концентрация водородных ионов (pH). Испытания проводили в 10-ти кратной повторности.

Условную вязкость дисперсий определяли с помощью вискозиметра ВЗ-4. В профильтрованной дисперсии предварительно определяли значение pH с помощью pH-метра -150МИ. Далее 100 мл дисперсии пропускали через капилляр вискозиметра, засекая время её истечения.

Поверхностное натяжение полимерных дисперсий определяли на тензиометре типа дю Нуи на границе раздела фаз дисперсия-воздух. Испытание проводили при температуре $25 \pm 1^\circ\text{C}$. Для градуировки прибора использовали дистиллированную воду.

Краевой угол смачивания оценивали на специальном приборе по определению краевого угла смачивания. Каплю исследуемой дисперсии помещали на обезжиренные подложки, имитирующие гидрофильные (стекло) и гидрофобные (тефлон) поверхности. За значение краевого угла смачивания принимали угол наклона касательной проведенной к капле. Испытание проводили при температуре $25 \pm 1^\circ\text{C}$.

Для определения сухих веществ в дисперсиях, в предварительно высушенные до постоянной массы чашки вносили 1г дисперсии. Сушку проводили при температуре $102 \pm 2^\circ\text{C}$ в течение 2 ч до постоянной массы. Взвешивание проводили на аналитических весах с точностью 0,0001г. Массовую долю сухих веществ рассчитывали как отношение массы сухого остатка, к массе исходной дисперсии умноженное на 100%.

Размер частиц дисперсной фазы определяли при температуре $24 \pm 1^\circ\text{C}$ на анализаторе размеров частиц лазерный Nanotrac, модификации Zetatrac (Microtrac, США) с помощью программного обеспечения Microtrac FLEX. Перед анализом пробы дисперсий серийно разводили дистиллированной водой. Объем анализируемой пробы составлял 2 мл.

¹ Operation and maintenance manual. Particle size and ZetaPotential analyzer Microtrac, Zetatrac (2008). Microtrac Inc.

Получение модельных пленок и исследование их санитарно-химических показателей

Полимерные дисперсии предварительно отфильтровывали и обезвоздушивали и наносили на инертную поверхность с помощью фильеры для получения равномерных пленок (Nisu, 2013). Формирование пленок проводили на открытом воздухе при температуре $23 \pm 2^\circ\text{C}$ в течение суток до постоянной массы. Толщину полученных пленок измеряли микрометром.

Для оценки миграции компонентов пленки в модельную среду получали вытяжки из исследуемых пленок. Образец пленки помещали в емкость с плотно закрывающейся крышкой и заливали модельной средой (дистиллированной водой). Соотношение площадь поверхности образца пленки:модельная среда составляло 2:1. Продолжительность экспозиции составляла 10 суток при комнатной температуре.

Органолептические показатели водных вытяжек определяли по истечении времени экспозиции на 10 сутки. Наличие мутности, осадка, цвет характеризовали описательно. Интенсивность запаха водных вытяжек оценивали в баллах по 5-ти балльной шкале.

Оценку миграции веществ из пленки присоединяющих бром оценивали по показателю бромлируемость. Для этого к 50 мл вытяжки приливали 10 мл серной кислоты и добавляли бромид-броматной смеси (0,005 н). Помещали в темное место на 30 мин после чего вносили 1 г иодида калия и выдерживали еще 5 мин. По окончании титровали раствором тиосульфата натрия (0,1 н) до обесцвечивания.

Содержание формальдегида, винилацетата в водных вытяжках определяли по стандартным методикам согласно ГОСТ 22648-77 с помощью спектрофотометра Unico 1201. Содержание ацетальдегида в водных вытяжках – в соответствии с МУК 4.1.3171-14 на хроматографе «Хроматэк – Кристалл 5000».

Биологическая оценка мигрировавших компонентов из пленок

Исследование токсичности мигрировавших веществ из пленки оценивали на инфузориях *Paramecium caudatum*. Культуру инфузорий выращивали в течение 4-х суток в питательной среде состава: пептон бактериологический (2,0 г), глюкоза безводная (0,5 г), дрожжевой экстракт (0,1 г),

хлорид натрия (0,1 г), дистиллированная вода (100). В ряд пробирок вносили культуру инфузорий из расчета 0,2 мл культуры на 1,0 мл исследуемой вытяжки из пленки. Инкубацию проводили при температуре $25 \pm 1^\circ\text{C}$ в темном месте. Эффект биопробы наблюдали через 30 мин, 1, 3, 6 часов после начала экспозиции для оценки острой токсичности; через 1, 3, 6 и 24 часа после начала экспозиции для оценки подострой (замедленной) токсичности; через 30 мин, 1, 3, 6, 24, 48, 72, 96 часов после начала экспозиции для оценки хронической токсичности. Эффект биопробы оценивали по гибели/жизнеспособности инфузорий с использованием оптического микроскопа, также отмечали скорость и характер передвижения, наличие деформации формы.

Исследование токсичности мигрировавших веществ из пленки параллельно проводили на проростках растений. Семена двудольных растений (огурцов) помещали в чашки Петри на фильтровальную бумагу, смоченную исследуемой вытяжкой, закрывали крышкой и оставляли в затемненном месте при температуре $24 \pm 1^\circ\text{C}$. Оценивали степень угнетения прорастания по сравнению с контролем. В качестве контроля использовали дистиллированную воду. Перед испытанием из общего объема семян делали контрольную выборку для определения всхожести по ГОСТ 12038-84.

Оценка деформационно-прочностных и сорбционных характеристик пленок

Определение деформационно-прочностных показателей проводили на универсальной испытательной машине РМ-50 с фиксацией разрушающего напряжения и относительного удлинения при разрыве. Скорость растяжения пленок – 10 мм/сек.

Жиростойкость материалов оценивали по специальной методике, заключающейся в определении промежутка времени, прошедшего от начала нанесения подкрашенного жидкого масла на поверхность исследуемой пленки до его проникновения в поверхностные слои. Окрашенное масло наносили на поверхность пленки и через 1, 2, 3, 5, 10, 20 и 30 мин удаляли масло с поверхности. Визуально оценивали образование окрашенного пятна в месте контакта. В качестве красителя использовали азокраситель Судан II.

Паропроницаемость пленок исследовали по стандартной методике ГОСТ 21472-81. В работе использовали стеклянную испытательную чашу, на дно которой заливали дистиллированную воду, сверху чашу закрывали исследуемым материалом

и герметично фиксировали по краям парафиновым составом. Взвешивали чаши с образцами с точностью до 0,0001 г. Чаши с образцами помещали в эксикаторы над концентрированной серной кислотой при комнатной температуре с последующим измерением массы чашек через 24ч.

Способность пленок сорбировать воду (водопоглощение) оценивали по ГОСТ 12020-72. Исследуемую пленку взвешивали с точностью 0,0001 г и помещали в дистиллированную воду. Соотношение общей площади поверхности к жидкости составляло 1:10. Взвешивание образцов проводили с интервалами 1, 2, 4, 8, 16, 24 ч. Водопоглощение рассчитывали как отношение разности массы образца после экспозиции и до, к первоначальной массе образца умноженные на 100 %.

Статистическая обработка данных

Статистическую обработку полученных результатов проводили с использованием пакета программы SPSS 22.0 для Windows. Все результаты представлены в виде средних величин и их стандартной ошибки ($M \pm n$).

Результаты

На первом этапе работы были исследованы коллоидно-химические показатели дисперсий: условная вязкость, поверхностное натяжение, краевой угол

смачивания, содержание сухих веществ, значение pH, дисперсность частиц (таблица 1).

Для сравнения вязкостных свойств дисперсии разбавляли до 40 % содержания сухих веществ и измеряли условную вязкость. При содержании 40 % сухих веществ вязкость дисперсий 320В составляла 15 ± 1 с, для дисперсий 5035В - 39 ± 1 с.

Далее из полимерных дисперсий формировали модельные пленки. Толщина формируемых пленок из дисперсии 320В составляла $0,25 \pm 0,04$ мм, из дисперсии 5035В - $0,36 \pm 0,05$ мм. Характеристики внешнего вида полученных пленок представлены в таблице 2.

Свойства формируемой поверхности пленки характеризует смачиваемость водой. Для пленок, полученных из дисперсии 320В, формируемая поверхность более гидрофобная, по сравнению с поверхностью пленки из дисперсии 5035В. Краевой угол смачивания пленок из дисперсии 320В составляет: внешняя сторона - 70 ± 1 градусов, внутренняя сторона - 65 ± 1 градусов; для пленок из дисперсии 5035В - внешняя сторона - 42 ± 1 градусов, внутренняя сторона - 28 ± 1 градусов.

На втором этапе работы оценивали санитарно-химические показатели пленок. Полученные результаты представлены в таблице 3.

Таблица 1

Коллоидно-химические показатели исходных исследуемых дисперсий

Показатель	Тип дисперсии	
	320В	5035В
Условная вязкость, с	36 ± 1	$72 \pm 1^*$
Поверхностное натяжение при 25°C, мН/м	47 ± 1	59 ± 1
Содержание сухих веществ, %	$50,0 \pm 0,5$	$54,0 \pm 1,0$
Значение pH	$5,6 \pm 0,05$	$5,8 \pm 0,07$
Размер частиц дисперсной фазы, микрон	$0,1-0,3$	$0,7-1,8$
Краевой угол смачивания, градусы**	18 ± 1	20 ± 1

Примечание. *Значение условной вязкости для 5035В представлено для дисперсии, содержащей 44 ± 1 % сухих веществ, в связи с высокой вязкостью исходной дисперсии. **Данные краевого угла смачивания представлены для гидрофильной поверхности.

Таблица 2

Характеристики сформированных модельных пленок

Тип пленки их дисперсии	Визуальная характеристика
320В	Поверхность гладкая, однородная, прозрачная. Пленка гибкая, эластичная, имеет характерный ацетатный запах
5035В	Поверхность гладкая, однородная, прозрачная, слегка мутноватая. Пленка гибкая, эластичная, имеет характерный ацетатный запах

Таблица 3

Санитарно-химические показатели исследуемых пленок из дисперсий полимеров

Тип пленки из дисперсии	Значения			
	Органолептические показатели водных вытяжек			
	запах, балл	Цвет	наличие осадка	мутность
320В	1	прозрачный	отсутствует	отсутствует
5035В	1	прозрачный	отсутствует	отсутствует
Тип пленки из дисперсии	Мигрирующие компоненты в водные вытяжки			
	бромирующие- ся вещества, мг/л	формальдегид, мг/л	винилацетат, мг/л	ацетальдегид, мг/л
320В	10,97±0,10	н/о	<0,05	<0,05
5035В	1,02±0,10	н/о	<0,05	<0,05

Таблица 4

Результаты эффекта биопробы на токсичность, выделившихся из пленки веществ по отношению к инфузориям

Тип пленки из дисперсии	Эффект биопробы на острую токсичность	Эффект биопробы на подострую токсичность	Эффект биопробы на хроническую токсичность
320В	(+)	(+)	(+)
5035В	(+)	(+)	(+)

Примечание. (+) – особи живы.

Результаты исследования токсичности мигрировавших компонентов пленки в модельную среду (дистиллированную воду) на инфузориях представлены в таблице 4. Эффект биопробы определен для трех видов токсичности: острой, подострой и хронической.

Установлено, что компоненты, мигрировавшие из пленок в модельную среду, не проявляют токсического действия на инфузории. Продолжительные исследования до 96 ч экспозиции показали, что жизнедеятельность инфузорий не нарушилось, прирост живых особей происходит с одинаковой скоростью как в пробах на вытяжках из пленок, так и в контрольных пробах. Изменения формы, характера движения инфузорий не наблюдалось.

Фитотестирование заключалось в определении степени угнетения прорастания зародышей растений (огурцов) на водных вытяжках из исследуемых пленок по сравнению с контролем. Полученные результаты представлены на рисунке 1.

Оценка степени прорастания выявило, что мигрировавшие компоненты из пленок не оказывают влияния на интенсивность прорастания.

В таблице 5 представлены результаты измерения деформационно-прочностных характеристик (разрушающего напряжения и относительного

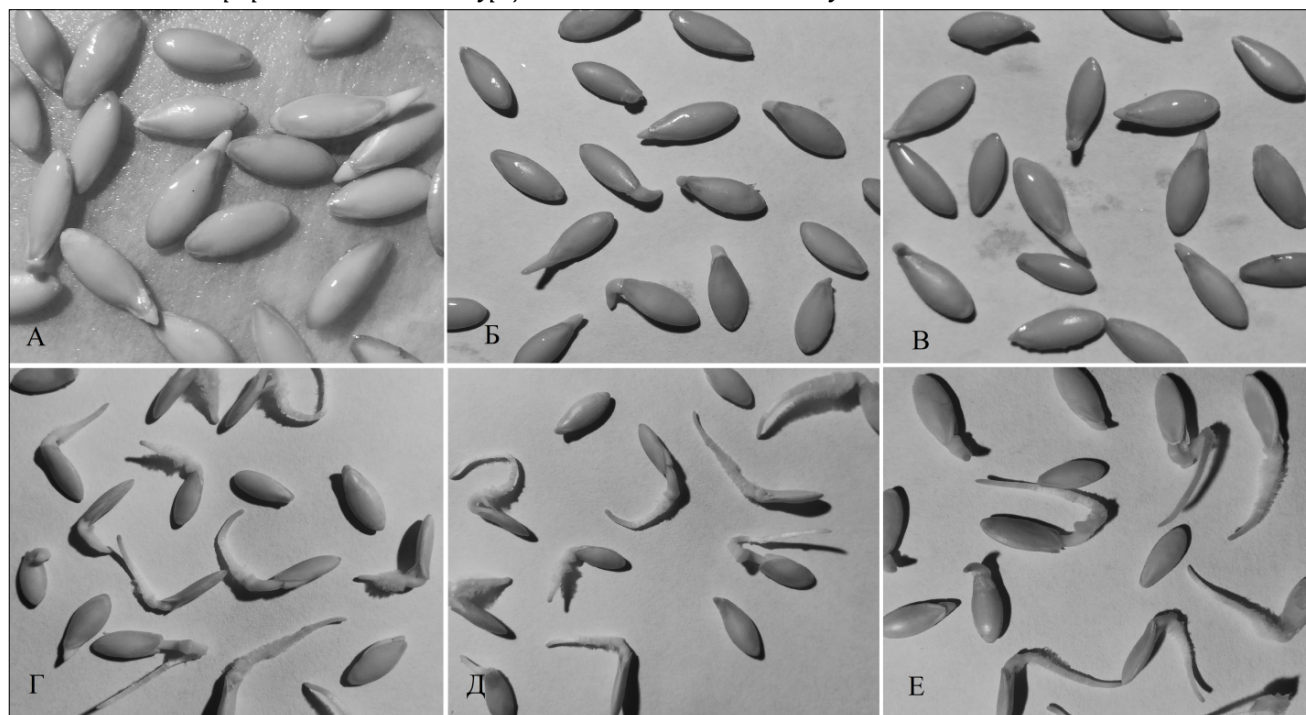
удлинения при разрыве) и сорбционных показателей.

Обсуждение полученных результатов

Способность полимерных дисперсий формировать равномерные покрытия на различных поверхностях зависит от коллоидно-химических свойств характеризующих способность систем смачивать покрываемую поверхность. В результате проведенных исследований получено, что при одинаковом содержании сухих веществ дисперсии сополимера винилацетата с винилверсататом (320В) менее вязкие по сравнению с вязкостью дисперсий винилацетата с дибутилмалеинатом (5035В). Особенностью полимерных дисперсий является сравнительно низкая вязкость при высоком содержании сухих веществ (свыше 50 %) по сравнению с растворами полимеров (не более 20 %). Одним из определяющих факторов реологических свойств полимерных дисперсий является размер частиц дисперсной фазы. Дисперсия 320В характеризуется узким диапазоном распределения частиц по размерам и более мелким размером частиц дисперсной фазы (до 0,3 микрон) по сравнению с дисперсиями 5035В для которых характерно более широкое распределение частиц дисперсной фазы по размеру. Согласно литературным данным при равных объемных долях полимера вязкость дис-

Рисунок 1

Интенсивность прорастания семян огурцов на вытяжках из исследуемых пленок



Примечание. Рисунок 1А, 1Г – представлены проростки семян огурцов через 24 ч и 48 ч экспозиции на контрольной среде соответственно. Рисунок 1Б, 1Д – представлены проростки семян огурцов через 24 ч и 48 ч экспозиции на вытяжках из пленки дисперсии 320В соответственно. Рисунок 1В, 1Е – представлены проростки семян огурцов через 24 ч и 48 ч экспозиции на вытяжках из пленки дисперсии 5035В соответственно.

Таблица 5

Деформационно-прочностные и барьерные показатели исследуемых пленок

Показатель	Тип пленки из дисперсии	
	320В	5035В
Разрушающее напряжение при разрыве, МПа	6,7±0,5	7,1±0,8
Относительное удлинение при разрыве, %	420±7	380±8
Жиростойкость	жиростойкие	жиростойкие
Паропроницаемость за 24 ч, г/м²	100	110
Водопоглощение за 24 ч, %	42±1	27±1

персий тем ниже, чем крупнее и шире их распределение по размерам (Лебедев, 1976). Полученные противоречивые данные, возможно, связаны с технологией получения, строением и структурой полимерных глобул. Способность полимерных дисперсий формировать сплошное покрытие на поверхности зависит не только от вязкости, но и от смачиваемости поверхности дисперсиями, которая характеризуется поверхностным натяжением растворов. Согласно уравнению Юнга, чем меньше поверхностное натяжение на границе жидкость-газовая среда, при условии равновесия «газовая среда-жидкость-твердое тело», тем смачиваемость лучше, что подтверждается полученными данными (таблица 1). При формировании полимерных покрытий на поверхности продукта, хорошая сма-

чиваемость покрываемой поверхности позволяет лучше заполнять неровности поверхности продукта без образования воздушных полостей между покрытием и поверхностью.

Специфика процесса формирования пленок (покрытий) из дисперсий полимеров заключается во влиянии на структурные превращения и свойства адсорбционного взаимодействия дисперсии с поверхностью (Зубов, 1982). Формирование покрытий из водных дисперсий полимеров происходит за счет удаления влаги, в результате чего сближаются латексные глобулы с последующим их соприкосновением и деформацией. Более подробно механизмы, протекающие в результате образования пленок из дисперсий, рассмотрены в рабо-

te Gonzalez et al. (Gonzalez, 2013). В промежутках между глобулами сохраняется остаточная влага, однако её недостаточно для гидратации защитных слоев, обеспечивающих их прочность, и система дестабилизируется (Gong, 2008; Atmuri, 2012). Формирование поверхностных слоев, контактирующих с воздухом и с подложкой, происходит не одинаково, что подтверждается полученными данными о смачиваемости поверхности пленок. Во всех случаях смачиваемость внутренней поверхности пленок лучше, так как глобулярная структура более однородная из-за адсорбционного взаимодействия дисперсий с поверхностью подложки и меньшей подвижности структурных элементов. Также стоит отметить, что в поверхностных слоях внешней стороны пленки, между частицами дисперсии сохраняются границы раздела, что влияет на показатель смачиваемости.

Таким образом, при исследовании и разработке покрытий на основе полимерных дисперсий, в том числе, модифицированных покрытий, необходимо изучение коллоидно-химических свойств, позволяющих предположить механизм формирования пленки и её потенциальные свойства, а также о влиянии модификаторов на эти свойства.

Полимерные материалы, в том числе покрытия, вступающие в контакт с пищевыми продуктами, не должны выделять веществ, влияющих на безопасность пищевой продукции, поэтому обязательным этапом исследования пищевых пленок являются санитарно-химические исследования. Сложность определения мигрировавших низкомолекулярных компонентов из упаковки в пищевые продукты, связана с многокомпонентным составом последних. Для решения данной проблемы при предварительных испытаниях полимерных материалов применяются модельные среды в соответствии с ТР ТС 005/2011 (Федотова, 2014). Органолептическая оценка и исследования мигрировавших компонентов из пленки, показали, что материалы соответствуют предъявляемым санитарным нормам (Приложение 1, ТР ТС 005/2011). Однако стоит отметить, что из пленок на основе дисперсии винилацетата с винилверсататом, мигрировало большее количество бромлирующих веществ. Несмотря на то, что данный показатель не является обязательным, превышение его значения свыше 10 мг/л является нежелательным и может быть основанием для проведения дополнительных исследований состава мигрировавших компонентов. На интенсивность миграции низкомолекулярных компонентов пленки, влияют условия проведения экспозиции (продолжительность, температура и модельная среда). Из табли-

цы 5 видно, что пленки на основе дисперсии 320В обладают лучшей водопоглотительной способностью (набуханием), по сравнению с пленками из дисперсии 5035В, что может приводить к большей миграции компонентов пленки в модельную среду.

Возможность использования пленки для контакта с пищевыми продуктами определяется токсичностью мигрирующих компонентов. В настоящее время, для упаковочных материалов и покрытий, применяемых массово известны компоненты, миграцию которых необходимо контролировать. Недостатком является то, что в основном методики являются специфичными только для определяемого вещества. Одним из методов определения токсичности мигрировавших компонентов является тестирование на простейших (Черемных, 2011) и на семенах растений (фитотестирование) (Sforzini, 2016). Достоинством данных методов является то, что инфузории и проростки семян двудольных растений очень чувствительны к токсическому действию многих веществ и анализ токсичности проводится не индивидуального вещества, а всех мигрировавших компонентов. На основании полученных результатов санитарно-химического анализа (таблица 3) миграция низкомолекулярных компонентов не превышает установленные нормы, и концентрации мигрировавших компонентов безопасны, что подтверждается данными биологической оценки токсичности на инфузориях (таблица 4) и проростках семян огурцов (рисунок 1). Для более полной оценки токсичности мигрировавших компонентов в случае модификации упаковки новыми добавками исследования проводят на животных (крысах, мышах).

Следующим этапом исследования была оценка деформационно-прочностных и сорбционных показателей пленок (таблица 5), так как материалы, в том числе и покрытия, применяемые в пищевой промышленности, должны не только соответствовать санитарным нормам, но и обладать прочностью, эластичностью и стойкостью к воздействию сред (воде, жиру, масел и т.д.).

Все упаковочные материалы после эксплуатации утилизируются (исключения составляют съедобные упаковки, употребляемые вместе с продуктом), в связи с чем изучение ассимиляции полимерных материалов (покрытий) в окружающей среде или их повторная переработка являются актуальными. В рамках данной работы исследования способности пленок к биодеструкции, полученных на основе дисперсий сополимеров винилацетата не проводились, но представлены в работе Фроловой (Фролова, 2017а).

На основании проведенных исследований предлагается обобщенная схема проведения испытаний полимерных покрытий, предназначенных для контакта с пищевыми продуктами, от исследований коллоидно-химических свойств растворов (для дисперсий полимеров) до утилизации покрытия после его использования:

- изучение коллоидно-химических свойств дисперсий (вязкость, содержание сухих веществ, pH, стабильность во времени, поверхностное натяжение, размер частиц дисперсной фазы, краевой угол смачивания и т.д.);
- получение модельных образцов пленок, для оценки способности к пленкообразованию при разных вариациях содержания сухих веществ, температурно-влажностных условий формирования;
- санитарно-химические исследования модельных сред, имитирующих пищевой продукт на предмет миграции низкомолекулярных компонентов из пленки (органолептическая оценка, окисляемость, бромируемость, основные компоненты, входящие в состав пленки и нормируемые документацией);
- дополнительная биологическая оценка вытяжек из полимерных материалов (покрытий) на предмет токсичности мигрировавших компонентов (оценка на дафниях, инфузориях, насекомых, крысах, мышах, проростках растений и т.д.);
- изучение деформационно-прочностных характеристик (прочность, эластичность, упругость и т.д.);
- исследование барьерных свойств (паропроницаемость, газопроницаемость, водопоглощение, растворимость и т.д.), в том числе антимикробных свойств;
- оценка способов утилизации материала (биоразложение, вторичная переработка и т.д.).

Заключение

Проведены комплексные исследования коллоидно-химических свойств полимерных дисперсий и их влияние на формирование пленок-покрытий. Предложена обобщенная схема проведения испытаний полимерных покрытий, предназначенных для контакта с пищевыми продуктами. Такая комплексная схема предварительных исследований покрытий, позволит получить более подробную информацию о свойствах покрытия, безопасности мигрирующих компонентов из покрытия в модельную среду, а в дальнейшем и в пищевой продукт, и предположить возможные способы утилизации после использования. Данный подход

потенциально позволит при введении модификаторов в пленкообразующий состав оценить распределение добавки в растворе и пленке, ее влияние на свойства пленки, и на пищевой продукт.

Литература

- Бокова, Е. С., Полетаева, А. Н., & Евсюкова, Н. В. (2018). Полимерно-пленочные материалы на основе полиолефинов для упаковки бакалейной продукции. *Пластические массы*, 7-8, 51-56.
- Ермоленко, З. М., & Фурсова, Н. К. (2018). Микробиологическая порча пищевых продуктов и перспективные направления борьбы с этим явлением. *Бактериология*, 3(3), 46-57. <https://doi.org/10.20953/2500-1027-2018-3-46-57>
- Зубов, П. И., & Сухарева, Л. А. (1982). *Структура и свойства полимерных покрытий*. Химия.
- Лебедев, А. В. (1976). *Коллоидная химия синтетических латексов*. Химия. Ленинградское отделение.
- Розалёнок, Т. А., & Сидорин, Ю. Ю. (2014). Исследование и разработка антимикробной композиции для пищевых упаковок. *Техника и технология пищевых производств*, (2 (33)), 130-134.
- Ухарцева, И. Ю., Цветкова, Е. А., & Гольдаде, В. А. (2019). Полимерные упаковочные материалы для пищевой промышленности: классификация, функции и требования (обзор). *Пластические массы*, (9-10), 56-64. <https://doi.org/10.35164/0554-2901-2019-9-10-56-64>
- Ухарцева, И. Ю., Цветкова, Е. А., & Гольдаде, В. А. (2020). Методы контроля свойств полимерных упаковочных материалов для пищевых продуктов (обзор). *Пластические массы*, 1-2, 48-56. <https://doi.org/10.35164/0554-2901-2020-1-2-48-56>
- Федотова, А. В., Фролова, Ю. В., & Сдобникова, О. А. (2013). Наномодифицированное латексное покрытие для защиты колбасных изделий. *Мясная индустрия*, 10, 24-26.
- Федотова, О. Б., & Богатырев, А. Н. (2014). Безопасность упаковки: новое и хорошо забытое старое. *Пищевая промышленность*, 1, 12-14.
- Фролова, Ю. В. (2017а). Экологическая составляющая применения модифицированных латексных покрытий в пищевой промышленности. *Пищевая промышленность*, 1, 44-46.
- Фролова, Ю. В., Кирш, И. А., Безнаева, О. В., Помохова, Д. А., & Тихомиров, А. А. (2017б). Создание упаковочных полимерных материалов с антимикробными свойствами. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*, 7(3), 145-152. <https://doi.org/10.20953/2500-1027-2018-3-46-57>

- org/10.21285/2227-2925-2017-7-3-145-152
- Черемных, Е. Г., Кулешин, А. В., & Кулешина, О. Н. (2011). Биотестирование пищевых добавок на инфузориях. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*, (3), 5-11.
- Ahmed, I., Lin, H., Zou, L., Brody, A. L., Li, Z., Qazi, I. M., Pavase T. R., & Lv, L. (2017). A comprehensive review on the application of active packaging technologies to muscle foods. *Food Control*, 82, 163-178. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.06.009>
- Alabi, O. A., Ologbonjaye, K. I., Awosolu, O., & Alalade, O. E. (2019). Public and Environmental Health Effects of Plastic Wastes Disposal: A Review. *Journal of Toxicol Risk Assess*, 5, 021. <https://doi.org/10.23937/2572-4061.1510021>
- Atmuri, A. K., Bhatia, S. R., & Routh, A. F. (2012). Autostratification in drying colloidal dispersions: Effect of particle interactions. *Langmuir*, 28(5), 2652-2658. <https://doi.org/10.1021/la2039762>
- Bugatti, V., Vertuccio, L., Zuppari, F., Vittoria, V., & Gorrasi, G. (2019). PET and Active Coating Based on a LDH Nanofiller Hosting p-Hydroxybenzoate and Food-Grade Zeolites: Evaluation of Antimicrobial Activity of Packaging and Shelf Life of Red Meat. *Nanomaterials*, 9(12), 1727. <https://doi.org/10.3390/nano9121727>
- Cazón, P., Velazquez, G., Ramírez, J. A., & Vázquez, M. (2017). Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. *Food Hydrocolloids*, 68, 136-148. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.009>
- Chen, X., Chen, M., Xu, C., & Yam, K. L. (2019). Critical review of controlled release packaging to improve food safety and quality. *Critical reviews in food science and nutrition*, 59(15), 2386-2399. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1453778>
- Dehghani, S., Hosseini, S. V., & Regenstein, J. M. (2018). Edible films and coatings in seafood preservation: A review. *Food chemistry*, 240, 505-513. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.034>
- Domínguez, R., Barba, F. J., Gómez, B., Putnik, P., Kovačević, D. B., Pateiro, M., Santos, E. M., & Lorenzo, J. M. (2018). Active packaging films with natural antioxidants to be used in meat industry: A review. *Food research international*, 113, 93-101. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.073>
- Gaikwad, K. K., Lee, J. Y., & Lee, Y. S. (2016). Development of polyvinyl alcohol and apple pomace bio-composite film with antioxidant properties for active food packaging application. *Journal of food science and technology*, 53(3), 1608-1619. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2104-9>
- Gong, X., Davis, H. T., & Scriven, L. E. (2008). Role of van der Waals force in latex film formation. *Journal of Coatings Technology and Research*, 5(3), 271-283. <https://doi.org/10.1007/s11998-008-9095-7>
- Gonzalez, E., Paulis, M., Barandiaran, M. J., & Keddie, J. L. (2013). Use of a Routh–Russel Deformation Map To Achieve Film Formation of a Latex with a High Glass Transition Temperature. *Langmuir*, 29(6), 2044-2053. <https://doi.org/10.1021/la3049967>
- Han, J. W., Ruiz-Garcia, L., Qian, J. P., & Yang, X. T. (2018). Food packaging: A comprehensive review and future trends. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(4), 860-877. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12343>
- Huang, T., Qian, Y., Wei, J., & Zhou, C. (2019). Polymeric antimicrobial food packaging and its applications. *Polymers*, 11(3), 560. <https://doi.org/10.3390/polym11030560>
- Jeevahan, J., & Chandrasekaran, M. (2019). Nanoedible films for food packaging: a review. *Journal of Materials Science*, 54, 12290-12318. <https://doi.org/10.1007/s10853-019-03742-y>
- Kirsh, I., Frolova, Y., Bannikova, O., Beznaeva, O., Tveritnikova, I., Myalenko, D., Romanova, V., & Zagrebina, D. (2020). Research of the Influence of the Ultrasonic Treatment on the Melts of the Polymeric Compositions for the Creation of Packaging Materials with Antimicrobial Properties and Biodegradability. *Polymers*, 12(2), 275. <https://doi.org/10.3390/polym12020275>
- Mujtaba, M., Morsi, R. E., Kerch, G., Elsabee, M. Z., Kaya, M., Labidi, J., & Khawar, K. M. (2019). Current advancements in chitosan-based film production for food technology; A review. *International journal of biological macromolecules*, 121, 889-904. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.10.109>
- Nicu, R., Lupei, M., Balan, T., & Bobu, E. (2013). Alkyl-chitosan as paper coating material to improve water barrier properties. *Cellul. Chem. Technol*, 47(7-8), 623-630.
- Olatunde, O. O., Benjakul, S., & Vongkamjan, K. (2019). Comparative study on nitrogen and argon-based modified atmosphere packaging on microbiological, chemical, and sensory attributes as well as on microbial diversity of Asian sea bass. *Food Packaging and Shelf Life*, 22, 100404.
- Raheem, D. (2013). Application of plastics and paper as food packaging materials-An overview. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 177-188. <https://doi.org/10.9755/ejfa.v25i3.11509>
- Ren, L., Yan, X., Zhou, J., Tong, J., & Su, X. (2017). Influence of chitosan concentration on mechanical and barrier properties of corn starch/chitosan films. *International journal of biological macromolecules*, 105, 1636-1643. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.02.008>
- Rojas, A. R., Ospina, A. A., Vélez, P. R., & Florez, R. A. (2019). ¿ What is the new about food packaging material? A bibliometric review during 1996–2016. *Trends in food science & technology*, 85, 252-

261. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.01.016>
- Sforzini, S., Oliveri, L., Chinaglia, S., & Viarengo, A. (2016). Application of biotests for the determination of soil ecotoxicity after exposure to biodegradable plastics. *Frontiers in Environmental Science*, 4, 68. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00068>
- Sharma, P., Shehin, V. P., Kaur, N., & Vyas, P. (2019). Application of edible coatings on fresh and minimally processed vegetables: a review. *International Journal of Vegetable Science*, 25(3), 295-314. <https://doi.org/10.1080/19315260.2018.1510863>
- Wu, C., Tian, J., Li, S., Wu, T., Hu, Y., Chen, S., ... & Ye, X. (2016). Structural properties of films and rheology of film-forming solutions of chitosan gallate for food packaging. *Carbohydrate polymers*, 146, 10-19. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.03.027>

Evaluation Methods for Protective Polymer Coatings for Food Contact

Yulia V. Frolova

Federal Research Center of Nutrition, Biotechnology and Food Safety

Correspondence concerning this article should be addressed to Yulia V. Frolova, Federal Research Center of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, 2/14, Ustyinskiy proezd, Moscow, 109240, Russian Federation. E-mail: himic14@mail.ru

Food products are exposed to spoilage microorganisms, both during production and during storage. The creation of protective polymer coatings is aimed at the development of coating materials capable of ensuring the quality and safety of packaged food products. Modern protective coatings are multicomponent systems containing high molecular weight compounds and modifying additives as a basis for imparting special properties, including antimicrobial. Currently, coatings formed from polymer solutions are widely used, one of the disadvantages of which is high permeability, in comparison with coatings based on polymer dispersions. In the work, model samples of films based on dispersions of a vinyl acetate copolymer by free watering were obtained. Conducted standard organoleptic and sanitary-chemical studies of the migration of low molecular weight coating components into model environments. The exposure time was 10 days at room temperature. The toxicity of the migrated components from the coating to the model medium was evaluated by biological assessment at infusoria and phytotesting on the seeds of dicotyledons. The sorption properties of the resulting coatings are estimated. As a result of the studies, the compliance of coatings based on dispersions with organoleptic and sanitary-chemical indicators was established. The effect of modifying additives introduced into the coatings and capable of migrating into the model environment on the life of the ciliates under the conditions of acute assessment was revealed the exposure time is up to 6 hours and chronic toxicity is 96 hours. Data were obtained on the degree of development and the rate of germination of plant seeds on extracts from polymer coatings.

Keywords: safety, food products, storage, sanitary-chemical indicators, phytotesting, polymer coatings, packaging

References

- Bokova, E. S., Poletaeva, A. N., & Evsyukova, N. V. (2018). Polymeric-film materials based on polyolefins for the packaging of grocery products. *Plasticheskie massy* [Plastic masses], 7-8, 51-56.
- Ermolenko, Z. M., & Fursova, N. K. (2018). Microbiological spoilage of food products and promising ways to combat this phenomenon. *Bakteriologiya* [Bacteriology], 3(3), 46-57. <https://doi.org/10.20953/2500-1027-2018-3-46-57>
- Zubov, P. I., & Sukhareva, L. A. (1982). *Structure and properties of polymer coatings*. Chemistry.
- Lebedev, A.V. (1976). *Colloidal chemistry of synthetic latexes*. Chemistry. Leningradskoe otdelenie.
- Rosalenok, T. A., & Sidorin, Yu. Y. (2014). Research and development of antimicrobial composition for food packaging. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Equipment and technology of food production], 2 (33), 130-134.
- Ukhartseva, I. Yu., Tsvetkova, E. A., & Goldade, V. A. (2019). Polymer packaging materials for the food industry: classification, functions and requirements (overview). *Plasticheskie massy* [Plastic masses], 9-10, 56-64. <https://doi.org/10.35164/0554-2901-2019-9-10-56-64>
- Ukhartseva, I. Yu., Tsvetkova, E. A., & Goldade, V. A. (2020). Methods for controlling the properties of polymer packaging materials for food (review). *Plasticheskie massy* [Plastic masses], 1-2, 48-56. <https://doi.org/10.35164/0554-2901-2020-1-2-48-56>
- Fedotova, A.V., Frolova, Yu. V., & Sdobnikova, O. A. (2013). Nanomodified latex coating for the protection of sausage products. *Myasnaya industriya* [Meat industry], 10, 24-26.
- Fedotova, O. B., & Bogatyrev, A. N. (2014). Packaging safety: new and well-forgotten old. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food industry], 1, 12-14.
- Frolova, Yu. V. (2017a). Environmental component of the use of modified latex coatings in the food industry. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food industry], 1, 44-46.

How to Cite

Frolova, Y. V. (2020). Evaluation Methods for Protective Polymer Coatings for Food Contact. *Health, Food & Biotechnology*, 2(1). <https://doi.org/10.36107/hfb.2020.i1.s258>

- Frolova, Y. V., Kirsh, I. A., Beznaeva, O. V., Pomogova, D. A., & Tikhomirov, A. A. (2017b). Creation of packaging polymer materials with antimicrobial properties. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya himiya i biotekhnologiya* [University news. Applied chemistry and biotechnology], 7(3), 145-152. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2017-7-3-145-152>
- Cheremnykh, E. G., Kuleshin, A.V., & Kuleshina, O. N. (2011). Biological testing of food additives on the ciliates. *Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Bulletin of the peoples' friendship University of Russia. Series: Ecology and life safety], 3, 5-11.
- Ahmed, I., Lin, H., Zou, L., Brody, A. L., Li, Z., Qazi, I. M., Pavase T. R., & Lv, L. (2017). A comprehensive review on the application of active packaging technologies to muscle foods. *Food Control*, 82, 163-178. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.06.009>
- Alabi, O. A., Ologbonjaye, K. I., Awosolu, O., & Alalade, O. E. (2019). Public and Environmental Health Effects of Plastic Wastes Disposal: A Review. *Journal of Toxicol Risk Assess*, 5, 021. <https://doi.org/10.23937/2572-4061.1510021>
- Atmuri, A. K., Bhatia, S. R., & Routh, A. F. (2012). Autostratification in drying colloidal dispersions: Effect of particle interactions. *Langmuir*, 28(5), 2652-2658. <https://doi.org/10.1021/la2039762>
- Bugatti, V., Vertuccio, L., Zuppari, F., Vittoria, V., & Gorrasi, G. (2019). PET and Active Coating Based on a LDH Nanofiller Hosting p-Hydroxybenzoate and Food-Grade Zeolites: Evaluation of Antimicrobial Activity of Packaging and Shelf Life of Red Meat. *Nanomaterials*, 9(12), 1727. <https://doi.org/10.3390/nano9121727>
- Cazón, P., Velazquez, G., Ramírez, J. A., & Vázquez, M. (2017). Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. *Food Hydrocolloids*, 68, 136-148. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.09.009>
- Chen, X., Chen, M., Xu, C., & Yam, K. L. (2019). Critical review of controlled release packaging to improve food safety and quality. *Critical reviews in food science and nutrition*, 59(15), 2386-2399. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1453778>
- Dehghani, S., Hosseini, S. V., & Regenstein, J. M. (2018). Edible films and coatings in seafood preservation: A review. *Food chemistry*, 240, 505-513. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.034>
- Domínguez, R., Barba, F. J., Gómez, B., Putnik, P., Kovačević, D. B., Pateiro, M., Santos, E. M., & Lorenzo, J. M. (2018). Active packaging films with natural antioxidants to be used in meat industry: A review. *Food research international*, 113, 93-101. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.073>
- Gaikwad, K. K., Lee, J. Y., & Lee, Y. S. (2016). Development of polyvinyl alcohol and apple pomace bio-composite film with antioxidant properties for active food packaging application. *Journal of food science and technology*, 53(3), 1608-1619. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2104-9>
- Gong, X., Davis, H. T., & Scriven, L. E. (2008). Role of van der Waals force in latex film formation. *Journal of Coatings Technology and Research*, 5(3), 271-283. <https://doi.org/10.1007/s11998-008-9095-7>
- Gonzalez, E., Paulis, M., Barandiaran, M. J., & Keddie, J. L. (2013). Use of a Routh-Russel Deformation Map To Achieve Film Formation of a Latex with a High Glass Transition Temperature. *Langmuir*, 29(6), 2044-2053. <https://doi.org/10.1021/la3049967>
- Han, J. W., Ruiz-Garcia, L., Qian, J. P., & Yang, X. T. (2018). Food packaging: A comprehensive review and future trends. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(4), 860-877. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12343>
- Huang, T., Qian, Y., Wei, J., & Zhou, C. (2019). Polymeric antimicrobial food packaging and its applications. *Polymers*, 11(3), 560. <https://doi.org/10.3390/polym11030560>
- Jeevahan, J., & Chandrasekaran, M. (2019). Nanoedible films for food packaging: a review. *Journal of Materials Science*, 54, 12290-12318. <https://doi.org/10.1007/s10853-019-03742-y>
- Kirsh, I., Frolova, Y., Bannikova, O., Beznaeva, O., Tveritnikova, I., Myalenko, D., Romanova, V., & Zagrebina, D. (2020). Research of the Influence of the Ultrasonic Treatment on the Melts of the Polymeric Compositions for the Creation of Packaging Materials with Antimicrobial Properties and Biodegradability. *Polymers*, 12(2), 275. <https://doi.org/10.3390/polym12020275>
- Mujtaba, M., Morsi, R. E., Kerch, G., Elsabee, M. Z., Kaya, M., Labidi, J., & Khawar, K. M. (2019). Current advancements in chitosan-based film production for food technology; A review. *International journal of biological macromolecules*, 121, 889-904. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.10.109>
- Nicu, R., Lupei, M., Balan, T., & Bobu, E. (2013). Alkyl-chitosan as paper coating material to improve water barrier properties. *Cellul. Chem. Technol*, 47(7-8), 623-630.
- Olatunde, O. O., Benjakul, S., & Vongkamjan, K. (2019). Comparative study on nitrogen and argon-based modified atmosphere packaging on microbiological, chemical, and sensory attributes as well as on microbial diversity of Asian sea bass. *Food Packaging and Shelf Life*, 22, 100404.
- Raheem, D. (2013). Application of plastics and paper as food packaging materials-An overview. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 177-188. <https://doi.org/10.9755/ejfa.v25i3.11509>
- Ren, L., Yan, X., Zhou, J., Tong, J., & Su, X. (2017).

- Influence of chitosan concentration on mechanical and barrier properties of corn starch/chitosan films. *International journal of biological macromolecules*, 105, 1636-1643. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.02.008>
- Rojas, A. R., Ospina, A. A., Vélez, P. R., & Florez, R. A. (2019). ¿ What is the new about food packaging material? A bibliometric review during 1996–2016. *Trends in food science & technology*, 85, 252-261. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.01.016>
- Sforzini, S., Oliveri, L., Chinaglia, S., & Viarengo, A. (2016). Application of biotests for the determination of soil ecotoxicity after exposure to biodegradable plastics. *Frontiers in Environmental Science*, 4, 68. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2016.00068>
- Sharma, P., Shehin, V. P., Kaur, N., & Vyas, P. (2019). Application of edible coatings on fresh and minimally processed vegetables: a review. *International Journal of Vegetable Science*, 25(3), 295-314. <https://doi.org/10.1080/19315260.2018.1510863>
- Wu, C., Tian, J., Li, S., Wu, T., Hu, Y., Chen, S., ... & Ye, X. (2016). Structural properties of films and rheology of film-forming solutions of chitosan gallate for food packaging. *Carbohydrate polymers*, 146, 10-19. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.03.027>
- Wu, C., Tian, J., Li, S., Wu, T., Hu, Y., Chen, S., ... & Ye, X. (2016). Structural properties of films and rheology of film-forming solutions of chitosan gallate for food packaging. *Carbohydrate polymers*, 146, 10-19. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.03.027>

Контроль качества розлива и маркировки пищевых продуктов с использованием интеллектуальных технологий

Хамед Эраки Мохамед Тахер¹, Благовещенский Иван Германович²,
Благовещенский Владислав Германович², Зубов Дмитрий Владимирович³

¹ Университет Мансура, город Мансура, Египет

² ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

³ ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет»

Корреспонденция, касающаяся этой статьи, должна быть адресована Благовещенскому И.Г., ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», адрес: 125080, город Москва, Волоколамское шоссе, дом 11. E-mail: igblagov@mgupp.ru

Статья посвящена повышению эффективности работы пищевого предприятия за счёт разработки и внедрения автоматизированной системы управления технологическим манипулятором на линии розлива и маркировки пищевых напитков с использованием интеллектуальных технологий. Показана необходимость в решении кинематических задач, особенно задач обратной кинематики манипулятора-робота. Проведенный в работе анализ показал, что существующие универсальные алгоритмы расчёта кинематики просты для записи в общем виде, но из-за ряда неустраняемых недостатков ресурсоёмки и обладают в некоторых случаях большой вычислительной погрешностью. Если технологические манипуляторы вынуждены работать именно в таких зонах, в которых этот метод приводит к существенным вычислительным ошибкам, то это может привести к замедлению движения манипулятора, что также приводит к снижению производительности, или потребовать вынужденно изменять режим работы с целью удаления рабочего органа от центра рабочей зоны, что займет больше места для каждого манипулятора. Поэтому для расчета кинематики предложено вместо универсального алгоритма использовать набор простых тригонометрических выражений по условиям конкретных движений, что позволяет сохранить требуемую точность во всём объёме рабочей зоны. Для управления манипулятором, поиска оптимальной траектории и взаимодействия с программой-моделью реальности (в среде SolidWorks) использовались программы, созданные в среде LabVIEW с инструментарием NI-SoftMotion в качестве контроллера для управления положением модели. Для автоматизации контроля качества розлива и маркировки пищевых продуктов и модернизации системы управления технологическим манипулятором разработаны алгоритмы решения обратной кинематической задачи для роботов типа PUMA, SCARA и KUKA, а также программное обеспечение, реализующее разработанные алгоритмы. Показаны результаты анализа использования системы оптического распознавания изделий, учитывающего совместное движение манипулятора и изделий. В результате проведенных исследований разработана система виртуального прототипирования мехатронной системы, позволяющая выбрать контроллер управлением движением манипулятора и требуемые двигатели и параметры оптимизации линии розлива и маркировки пищевых продуктов с использованием интеллектуальных технологий. По полученным результатам разработана улучшенная модель робота PUMA 560, к которой добавлены средства для передвижения манипулятора с использованием интеллектуальных технологий, что позволит повысить эффективность работы линии розлива и маркировки пищевых продуктов, улучшить их показатели качества.

Ключевые слова: контроль, качество розлива, маркировка, пищевые продукты, интеллектуальные технологии, система управления

Как цитировать

Эраки, Э. М. Т. Х., Благовещенский, И. Г., Благовещенский, В. Г., & Зубов, Д. В. (2020). Контроль качества розлива и маркировки пищевых продуктов с использованием интеллектуальных технологий. *Health, Food & Biotechnology*, 2(1). <https://doi.org/10.36107/hfb.2020.i1.s295>

Введение

Пищевая промышленность – одна из самых динамично развивающихся отраслей экономики. Новые технические возможности позволяют радикально решать типичные проблемы пищевых производств, связанные с соблюдением требований микробиологического режима, устранения ручного труда и связанных с ним технологических потерь, повышения стабильности уровня качества продукции, дают возможность оперативно изменять ассортимент и производительность предприятия (Благовещенская, 2009).

Ввиду большого количества ручного труда на пищевых предприятиях перспективно применение робототехнических комплексов, которые позволяют обеспечить большую гибкость производства, в том числе в задачах перемещения сырья, полуфабрикатов, готовой пищевой продукции, маркировки этих изделий, что особенно важно для малотоннажных производств, обладающих оборудованием, позволяющим производить пищевую продукцию различного ассортимента.

Ввиду высокой конкуренции на рынке напитков, производители вынуждены организовывать производство сезонных или приуроченных к каким-либо знаменательным событиям серий продукции, отличающихся не только составом напитков, но и видом бутылок и маркировки, что делает невозможным применение типовых автоматических линий, использующих традиционную тару и не поддающихся существенной перенастройке. Прогресс в развитии компьютерных технологий сделал возможным решение задач распознавания взаимного расположения физических объектов в режиме реального времени и управления исполнительными устройствами на основе адаптивных моделей, что позволяет снизить затраты энергии и повысить надёжность, безопасность и производительность агрегатов гибких линий пищевых производств.

Для того, чтобы машины и агрегаты гибких автоматизированных линий пищевых производств могли выполнять заданные задачи, необходимо разработать четкие траектории перемещений исполнительных органов манипуляторов, а для их реализации – законы изменения скоростей, сил и моментов соответствующих приводных устройств. Для поиска и реализации алгоритма управления манипуляторами при решении задач пищевых предприятий необходимо использование математических моделей процессов, протекающих в ходе работы производственной линии. Из вышеска-

занного следует, что проблема обеспечения динамично развивающейся пищевой промышленностью универсальными программно-аппаратными средствами управления робототехническими комплексами актуальна. Множество работ в этой области, особенно зарубежных авторов, свидетельствует об актуальности и востребованности выбранной темы исследования.

Целью настоящего исследования является повышение эффективности работы пищевого предприятия за счёт разработки и внедрения автоматизированной системы управления технологическим манипулятором с несколькими степенями свободы на основе имитационной модели.

Для реализации намеченной цели были поставлены следующие задачи исследования:

1. Разработка алгоритма управления технологическим манипулятором, обеспечивающим сохранение заданной точности позиционирования во всём пространстве рабочей зоны.
2. Исследование и разработка системы компьютерного зрения для обнаружения траектории движущихся цветных объектов и отслеживания движущихся по технологической линии объектов, с использованием камеры, расположенной на движущемся манипуляторе.
3. Создание общей структуры разработанной системы управления манипуляторами для контроля качества розлива и маркировки пищевых продуктов.
4. Разработка алгоритма структурного синтеза манипулятора для системы маркировки пищевой продукции предприятия

Объектом исследования является система управления линией розлива жидких пищевых продуктов.

Научная новизна данного исследования заключается в следующем:

1. Разработан новый метод управления манипулятором при помощи кинематического анализа с учётом особенностей рассмотренных типовых манипуляторов, позволяющий снизить вычислительные ошибки расчёта траектории и таким образом обеспечить заданную точность позиционирования во всей рабочей зоне.
2. Предложен новый метод решения задачи имитационного моделирования технологического манипулятора, отличающийся распределением функций между программными средами – быстрой (LabVIEW) и медленной, но точной (SolidWork), позволяющий рационально использовать вычислительные ресурсы.
3. Разработаны алгоритмы динамического ана-

- лиза манипуляционных механизмов для системы технологического транспорта.
4. Разработан метод контроля траектории манипулятора, позволяющий избегать нежелательных столкновений в рабочем пространстве.
 5. Разработаны численные модели манипуляционных механизмов, предназначенных для системы маркировки продукции.

Литературный обзор

Большими сторонниками внедрения кибернетических методов в промышленность были академик В.В. Кафаров (Кафаров, Макаров, 1990; Кафаров, 1968), профессора А.И. Бояринов, И.И. Артоболевский (Артоболевский, 2005) и ряд других учёных (Благовещенская, Злобин, 2005), заложивших основы моделирования и автоматизации сложных производственных линий. Академиком АН СССР И.И. Артоболевским были разработаны общие принципы создания машин-автоматов, в том числе применительно к пищевой промышленности (Артоболевский, 2005).

На сегодняшний день накоплен достаточный практический и теоретический объем информации по разработке и внедрению автоматизированных систем управления технологическими манипуляторами. Эти вопросы в своих работах всесторонне рассматривали следующие ученые – И.Р. Белоусов, А.А. Богуславский, С.Н. Емельянов, Д.Е. Охоцимский, А.К. Платонов, В.В. Сазонов, С.М. Соколов (Белоусов, Богуславский и др. 1999), П.Н. Белянин (Белянин, 2000), С.Л. Зенкевич, А.С. Ющенко¹, Д.В. Зубов (Зубов, 2017), И.М. Макаров (Макаров, 1986).

Большой вклад в создание и совершенствование манипуляторов, работающих на линиях производства пищевых продуктов, внесли: В.Ф. Филаретов, А.В. Зуев (Филаретов, Зуев, 2006), И.В. Скопинцев (Скопинцев, 2016), Юревич Е.И. (Юревич, 2005), S. Alavandar (Alavandar, 2008), С.М. Bastuchech (Bastuchech, 1989).

За последние годы предложены новые и усовершенствованные робототехнические устройства с несколькими степенями свободы на основе имитационной модели. Работы по созданию и внедрению автоматизированных систем управления технологическим манипулятором с нескольки-

ми степенями свободы с использованием интеллектуальных технологий проводили А.А. Воевода, Д.О. Романников, А.С. Мещанов, А.В. Николаева, С.В. Ульянов, И.Р. Камалиев, А.В. Некрасов, А.О. Титов, А.В. Уткин, С.А. Краснова, А.Г. Ахобадзе (Зубов, 2016), G.J. Awcock (Awcock, 1995), P. Baglietto (Baglietto, 1996), T. Benjanarasuth (Benjanarasuth, 2010), внесших большой вклад в усовершенствование работы робототехнических устройств и разработку встраиваемых в них программно-аппаратных интеллектуальных комплексов на основе использования систем компьютерного зрения, нейросетевых технологий, экспертных систем, генетических алгоритмов и т.д.

В общем случае для расчетов кинематических параметров технологических манипуляторов широко используется метод Денавита - Хартенберга, предлагающий матричное представление координат процесса (ДН-представление) (Craig, 2005). Несмотря на критику такого подхода для ряда особых случаев некоторые авторы В. Christie (Christie, 2009), E.R. Davies (Davies, 1990) предлагают решать обратную кинематическую задачу путём её сведения к оптимизационной задаче. Ряд авторов (Angeles, 1985), (Benjanarasuth, 2010) указывает на целесообразность и даже необходимость решения задачи управления манипулятором совместно с использованием динамической модели как самого манипулятора, так и его окружения. Многие авторы Н. Brian (Brian, 2008), S. Shital, N. Chiddarwar, V. Ramesh, Н. Chaudhary (Chaudhary, 2014) уделяют внимание алгоритмам решения обратной кинематической задачи с учётом имеющихся технологических ограничений, которые могут как усложнить, так и упростить решение задачи.

Ряд авторов предлагают использовать для управления аппарат искусственного интеллекта О.Ф. Alcin F. Ucar, D. Korkmaz. (Alcin, 2016), O. Khalal, A. Mellit, M. Rahim, H. Salhi, A. Guessoum (Khalal, 2007) – в недетерминированной среде и с меняющимися задачами, и в частности – искусственных нейронных сетей для решения задач обратной кинематики, для поиска управления манипулятором в условиях изменяющегося окружения. Достоинством таких систем является высокая адаптивность и расширяемость. Недостатком является вероятностный характер решения, не гарантирующий нахождение наилучшего управления. По результатам литературного обзора сделан вывод, что возможно для которых моделей роботов за счёт сни-

¹ Зенкевич, С. Л., & Ющенко, А. С. (2004). Основы управления манипуляционными роботами: Учебник для вузов (315 – 412). Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана.

жения универсальности методики можно снизить вычислительную сложность и повысить точность и быстродействие позиционирования.

Однако проведенный нами обзор и анализ состояния теории и практики создания и внедрения автоматизированных систем управления технологическим манипулятором с несколькими степенями свободы с использованием интеллектуальных технологий показал, что остается много нерешенных вопросов по контролю качества розлива и маркировки пищевых продуктов с использованием интеллектуальных технологий. Также, до настоящего времени не созданы математические модели многозвенных технологических манипуляторов типов SCARA, PUMA, KUKA, обеспечивающих сохранение заданной точности позиционирования во всём пространстве рабочей зоны; не имеется алгоритмов управления технологическим манипулятором, обеспечивающим оптимизацию работы линии розлива и маркировки пищевых продуктов.

До сих пор не рассматривалась возможность разработки и исследования системы компьютерного зрения для отслеживания движущихся по технологической линии розлива и маркировки пищевых продуктов, с камерой расположенной на движущемся манипуляторе.

В настоящей работе был учтен и проработан опыт предыдущих исследований, использованы рекомендации, приводимые авторами перечисленных трудов.

Методы

Поставленные в работе задачи решены с использованием теории автоматического управления, методов математического моделирования, теории принятия решений, методов сетевого планирования, методов оптимизации (динамическое программирование), теории алгоритмов и методов программирования, а также методов создания систем технического зрения, теории принятия решений, методов системного анализа и методов математической статистики. Вычисления в процессе исследований, численная и графическая обработка результатов производились с применением математического аппарата прикладных программ. Численная и графическая обработка результатов исследований производилась с применением MatLab, Labview, EDEM. Для управления манипулятором, поиска оптимальной траектории и взаимодействия с программой-моделью реальности (в среде SolidWorks) использовались программы,

созданные в среде LabVIEW с инструментарием NI-SoftMotion (в качестве контроллера для управления положением модели). Для разработки основных компонентов системы управления технологическим манипулятором с несколькими степенями свободы на основе имитационной модели использован объектно-ориентированный язык Delphi.

Исследование

Большинство современных роботов-манипуляторов классифицируются как объекты с вращающейся системой координат (Благовещенская, Злобин, 2005). Применение такой системы координат, как правило, связано с необходимостью преобразования координат и движений в различных системах координат.

Существует два вида методов решения задачи обратной кинематики: аналитический и численный. Некоторые задачи управления роботом манипулятором приводят к особым точкам и нелинейностям, усложняющим выработку управляющих воздействий. Для очень небольшого класса простых манипуляторов, например, кинетических манипуляторов, координаты которых задаются углами Эйлера, эти задачи управления были решены аналитически (Kucuk, 2004). Одним из путей решения задачи обратной кинематики роботов манипуляторов, является способ, в котором уравнения кинематики преобразуют в полином 16 степени.

В ряде случаев, при моделировании и расчете обратной кинематики, может быть полезна концепция мягких вычислений, особенно в тех случаях, когда задача решается многократно, например, для адаптивного управления роботом в режиме реального времени (Alavandar, 2008). Если число степеней свободы возрастает, то применять традиционные методы управления, становится все более сложно и особенно трудно решить задачу обратной кинематики.

Ряд авторов предлагают использовать для управления аппарат искусственного интеллекта (Angeles, 1985, Benjanarasuth, 2010). Достоинством таких систем является высокая адаптивность и расширяемость. Недостатком является вероятностный характер решения, не гарантирующий нахождение оптимального управления.

На основании проведенного литературного обзора работ по математическому моделированию кинематики и динамики машин и агрегатов, объединенных в производственные линии с учётом

их взаимодействия, взаимодействия их с окружающей средой был сделан вывод, что возможно снизить вычислительную сложность и повысить точность и быстродействие позиционирования моделей роботов за счёт снижения универсальности методики.

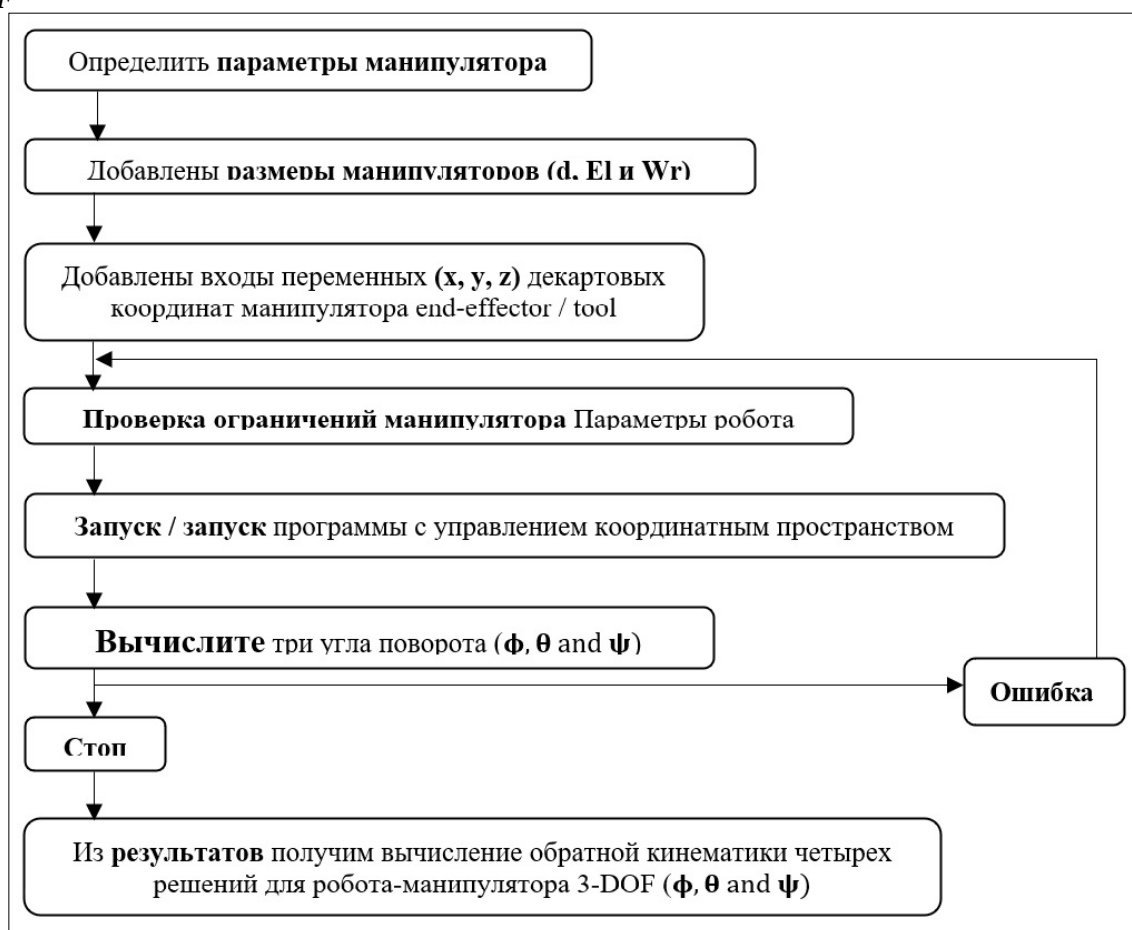
Существует два подхода к решению прямой и обратной задач кинематики: геометрические и алгебраические методы. В данном исследовании вместо традиционных методов предложен новый, разработанный путем математического моделирования вращательных движений 3-DOF робота-манипулятора (RRR) (геометрический подход), определены все параметры конструкции, а также их отношения, получены математические уравнения с геометрическими представлениями, осуществлено преобразование этих уравнений в LabVIEW для генерирования кодов программирования, а затем разработан интерфейс для передачи результатов в CAD программу, в частности – SolidWorks (Эраки, 2018). То есть по результатам проведенных исследований и полученных данных было предложено для расчёта

кинематики вместо универсального алгоритма использовать набор простых тригонометрических выражений, получаемых алгоритмически по условиям конкретных движений, что позволяет сохранить требуемую точность во всём объёме рабочей зоны.

Для снижения общих вычислительных затрат был разработан алгоритм выбора оптимальной траектории из исходного положения манипулятора в целевое, с учётом отбрасывания заведомо неоптимальных. Поскольку у манипулятора есть несколько степеней свободы, которые могут рассматриваться как отдельные переменные оптимизации, то задачу управления манипулятором для перевода его из одного состояния в другое, рассматривали как задачу условной дискретной оптимизации. Для её решения создан алгоритм, являющийся модификацией алгоритма ветвей и границ: в отличие от полного перебора, отбрасываются кандидаты на решение, которые уже не смогут быть лучше уже найденного оптимального. На рис. 1 представлена блок-схема алгоритма, использующего полученный подход.

Рисунок 1

Блок-схема алгоритма обратного кинематического программного обеспечения робота-манипулятора 3-DOF



Для управления манипулятором, поиска оптимальной траектории и взаимодействия с программой-моделью реальности (в среде SolidWorks) использовались программы, созданные в среде LabVIEW с инструментарием NI-SoftMotion (в качестве контроллера для управления положением модели).

Использованное сочетание управляющего (оптимизирующего) модуля, созданного в среде LabVIEW, и моделирующего реальность модуля в среде SolidWork позволяет распределить функции и вычислительные ресурсы по разным ЭВМ с сохранением гибкости и производительности системы в целом. Сравнение возможностей встроенного программного обеспечения (ПО) компаний-производителей промышленных роботов с предлагаемой системой представлено на таблице 1.

Предлагаемый подход системы управления роботом манипулятором имеет ряд преимуществ по сравнению с имеющимися решениями:

- точные траектории, для получения которых не требуются обучающие точки (которые требуются для Aubo, Universal Robots);
- пользователь может задать любой критерий

оптимальности, помимо заранее предложенного (например, минимизация времени перемещения) и любой набор ограничений (заранее заданы ограничения на рабочую область и предельную мощность), благодаря чему может быть реализован сложный алгоритм движения в динамически изменяющейся окружающей среде;

- интерактивное моделирование и визуализация технологического процесса, что позволяет обеспечить совместную работу нескольких манипуляторов, находящихся вблизи друг друга;
- снижение необходимости в перекалибровке (она частично осуществляется путём адаптации модели манипулятора в среде SolidWorks), улучшение детализации и повторяемости движений, обеспечение достижения всех точек рабочей зоны и устранение столкновений;
- при необходимости пользователь может задать любой алгоритм движения на любом участке траектории.

Различия между предлагаемой разработанной методикой и традиционной методикой (DH) представлены в таблице 2.

Таблица 1

Сравнение предлагаемого подхода с встроенным ПО компаний-производителей промышленных роботов

Название производителя	Тип манипулятора	Принцип работы ПО
<u>Aubo</u> (Китай-США)	SCARA и несколько специальных типов, встречающихся только у этого производителя	Машинное обучение в сочетании с DH-представлением
<u>Dobot</u> (Китай)	SCARA и несколько специальных типов, встречающихся только у этого производителя	ПО на основе DH-представления
<u>Universal Robots</u> (Дания)	PUMA и несколько специальных типов, встречающихся только у этого производителя	Искусственный интеллект
<u>ABB</u> (Швеция-Швейцария)	KUKA и несколько специальных типов, встречающихся только у этого производителя	Машинное обучение
Предлагаемый подход	SCARA, PUMA, KUKA	LabVIEW на основе предлагаемых конструктивных аналитических методов

Таблица 2

Различия между предлагаемой методикой и традиционной методикой (DH)

Различия	Предлагаемая методика (сводит задачу к двумерной)	Традиционная методика Denavit–Hartenberg (DH) (3-трёхмерная задача)
Математические требования	Не содержит высоких требований к математическому обеспечению, т.к. не использует матриц	Использует гомогенные матрицы 4x4 заданной структуры (John J. Craig 2005)
Программного обеспечения	Легко реализуется программных пакетах (наша реализация – LabVIEW)	Высокие требования к математическому обеспечению, вызванные использованием матриц
Точность	Сохраняется точность вычислений	Вычисления производятся с ограниченной точностью (Taylor, 1979)
сингулярность	Использование «геометрического метода» для представления позиций и ориентаций обеспечивает четкую работу кинематики роботов, избегая сингулярностей	Сингулярность и нелинейные выражения совместных отношений являются основной проблемой в методе однородных матриц (Aydin and Kucuk, 2006)

Поскольку также важными задачами настоящего исследования были разработка и исследование системы обнаружения траектории движущихся цветных объектов с использованием интеллектуальных технологий, нами была изучена возможность разработки системы компьютерного зрения, работающей совместно с созданной системой управления роботом манипулятором.

Обзор и анализ работ, авторы которых ставили и решали задачи автоматизации, системного анализа и управления различными процессами пищевых производств с использованием систем компьютерного зрения (Петров, Благовещенская, Благовещенский, Ионов, 2019; Петряков, Благовещенская, Благовещенский, Митин, 2019; Гарев, Благовещенский, Назойкин, Макаровская, 2019; Гончаров, Благовещенский, Назойкин, Макаровская, 2019; Благовещенский, Макаровская, Благовещенская, Чувахин 2019; Балыхин, Благовещенский, 2018; Благовещенский, Носенко, 2015; Иванов, Благовещенская, Благовещенский, 2012; Alcin, 2016; Khalal, 2007) показал, что основные успехи современных систем управления различными производствами пищевых продуктов связаны со значительным прогрессом в области программных систем и цифровых видеотехнологий. Машинное зрение – это применение компьютерного зрения для промышленности и производства. В то время как компьютерное зрение – это общий набор методов, позволяющих компьютерам видеть. Областью интереса машинного зрения, как инженерного направления, являются цифровые устройства ввода-вывода и компьютерные сети, предназначенные для контроля производственного оборудования, таких как роботы-манипуляторы или аппараты для извлечения бракованной продукции (Балыхин, Борзов, Благовещенский, 2017; Благовещенская, Сантон Куннихан, 2017; Крылова, Благовещенский, Татарин, 2017; Назойкин, Благовещенский, Синча, 2019; Петряков, Благовещенская, Благовещенский, Крылова, 2018; Chaudhary, 2014). Машинное зрение является подразделом инженерии, связанное с вычислительной техникой, оптикой, машиностроением и промышленной автоматизацией. Одним из наиболее распространенных приложений машинного зрения является контроль/инспекция качества промышленных пищевых продуктов, таких как различные кондитерские изделия, халобопечарные, молочные, мясные, мучкомольные и другие продукты питания и лекарственные препараты (Савостин, Благовещенская, Благовещенский, 2016; Благовещенская, Шаверин, Благовещенский, 2012; Носенко, Благовещенский, Шаверин, Благовещенская, 2014; Шаверин

А.В., Благовещенская, Благовещенский 2012; Благовещенская, Благовещенский, Назойкин 2015 и др.). Системы машинного зрения для этих целей используют цифровые и интеллектуальные камеры, а также программное обеспечение, обрабатывающее изображение для выполнения аналогичных проверок.

Современные системы управления типа KR C4 поставляются с операционной системой Windows XP и являются универсальными для работы со всеми типами роботов KUKA. Периферийные устройства оснащены USB-портами, портом Ethernet и опциональным интерфейсом для Profibus, INTERBUS, DeviceNet и PROFINET. Блок управления включает в себя промышленный компьютер, который общается с системным роботом при помощи MFC карты. Сигналы между манипулятором и системой управления передаются посредством, так называемой, DSE-RDW связи. DSE карта находится в блоке управления, RDW – в базе робота. Промышленные роботы KUKA нашли широкое применение в различных производственных областях, в том числе в пищевой промышленности: они используются для обработки пищевых продуктов, погрузки и разгрузки, паллетирования. Таким образом, очевидно, что есть все предпосылки для развития научных основ применения систем компьютерного зрения, работающих совместно с роботами манипуляторами в пищевой промышленности.

Управление роботом манипулятором отличается от управления другими промышленными объектами. Это связано с большим числом отдельно управляемых механических осей. Стоит отметить, что из-за особенности конструкции и расположения элементов в роботе-манипуляторе, существующих кинематических и динамических отношений между осями, они должны быть приняты во внимание для достижения требуемого качества процессов управления и должны быть учтены при разработке системы компьютерного зрения, работающей совместно с созданной системой управления роботом манипулятором.

Для управления манипуляционными системами необходимо уметь решать ряд задач управления, таких как: анализ кинематики робота и рабочего пространства; планирование движения; предварительный расчет сил и моментов; анализ динамической точности и идентификации кинематических и динамических параметров робота. В работе (Khalal, 2007) были представлены некоторые приемы анализа систем управления движением роботов, как обычной системой автоматизированного управления на основе точной математической

модели, что дает положительные результаты в плане отслеживания ошибок и надежности, но создаёт трудности разработки эффективного алгоритма из-за неопределенности в модели, вызванной неточной оценкой параметров модели. В работе М.Т.Х. Эраки (Эраки, 2018), предложено использовать ПИД-контроллер на базе внутренней модели управления (IMC) для управления двухзвенным SCARA роботом. ПИД-контроллер может быть создан путем применения серии Maclaurin расширения контроллеров IMC в общей обратной связи контуром с использованием фильтра высоких частот. Моделирование результатов показало, что предложенный метод управления угловой позиции SCARA робота- манипулятора на основе ПИД контроллера позволяет избавиться от статической ошибки. Для адаптивного управления роботом типа SCARA можно использовать технологию искусственных нейронных сетей (Эраки, 2018). Выходные сигналы искусственной нейронной сети регулировки подбирались таким образом, чтобы избежать нежелательных состояний системы. В результате, ошибка перемещения между роботом и заданным эталонным сигналом асимптотически сходилась к нулю. Производительность системы была продемонстрирована в симуляции. Полученные результаты моделирования свидетельствовали о надежности работы переменной структурой управления манипулятором.

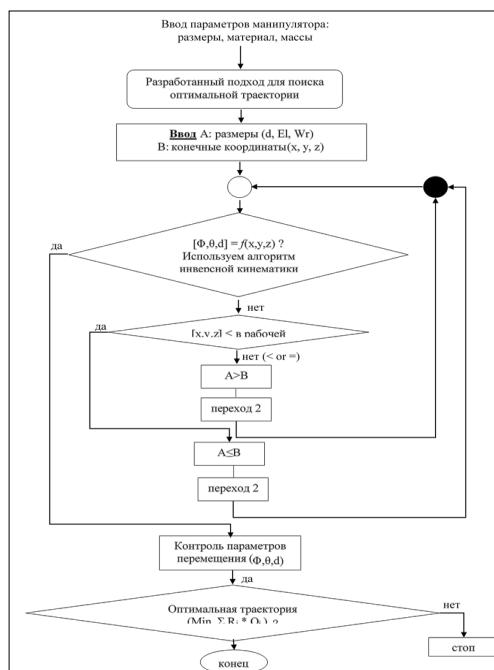
Использование современных систем компьютерного зрения с улучшенной системой распозна-

Рисунок 2

Общая структура разработанной системы управления манипуляторами для контроля качества розлива и маркировки пищевых продуктов

вания использовался для уточнения координат объекта или робота. Достижения в области 3D машинного зрения сделали возможным реакцию роботов на изменяющиеся условия среды и адаптацию к ней, что позволило применять роботов для работ, где нет жёсткого соответствия реальности проекту, что было очень трудно для роботов в прошлом. Роботы теперь могут брать объекты разных форм и ориентаций с конвейера (Эраки, Зубов, 2018). Системы компьютерного зрения, несомненно, позволили повысить гибкость систем управления роботами, а также повысить безопасность работы.

Были изучены различные системы компьютерного зрения для интеграции её с разработанной системой управления. Для этого были проведены экспериментальные исследования подбора различных систем компьютерного зрения для надежного отслеживания роботом движущихся объектов. Используемая система видения для отслеживания включала в себя: сбор данных, преобразование координат, инвариантное распознавание объектов. Разработанная программа LabVIEW с модулем технического зрения отслеживала положение динамического движущегося цветного объекта путем измерения его координаты x , y в пикселях от контрольной точки. Камеру предлагалось разместить на манипуляторе, что потребовало соответственного учёта в системе технического зрения движения манипулятора, т.е. совместной работы системы управления и системы технического зрения.



Общая структура разработанной системы управления манипуляторами для контроля качества розлива и маркировки пищевых продуктов представлена на рис. 2.

На основе проведенных исследований и полученных результатов разработан аппаратно-программный комплекс для наклеивания этикеток на готовую пищевую продукцию,

Разработана блок-схема алгоритма структурного синтеза манипулятора, совершающего поступательные и вращательные движения, предназначенная для системы маркировки пищевой продукции предприятия (рис.3).

Результаты и их обсуждение

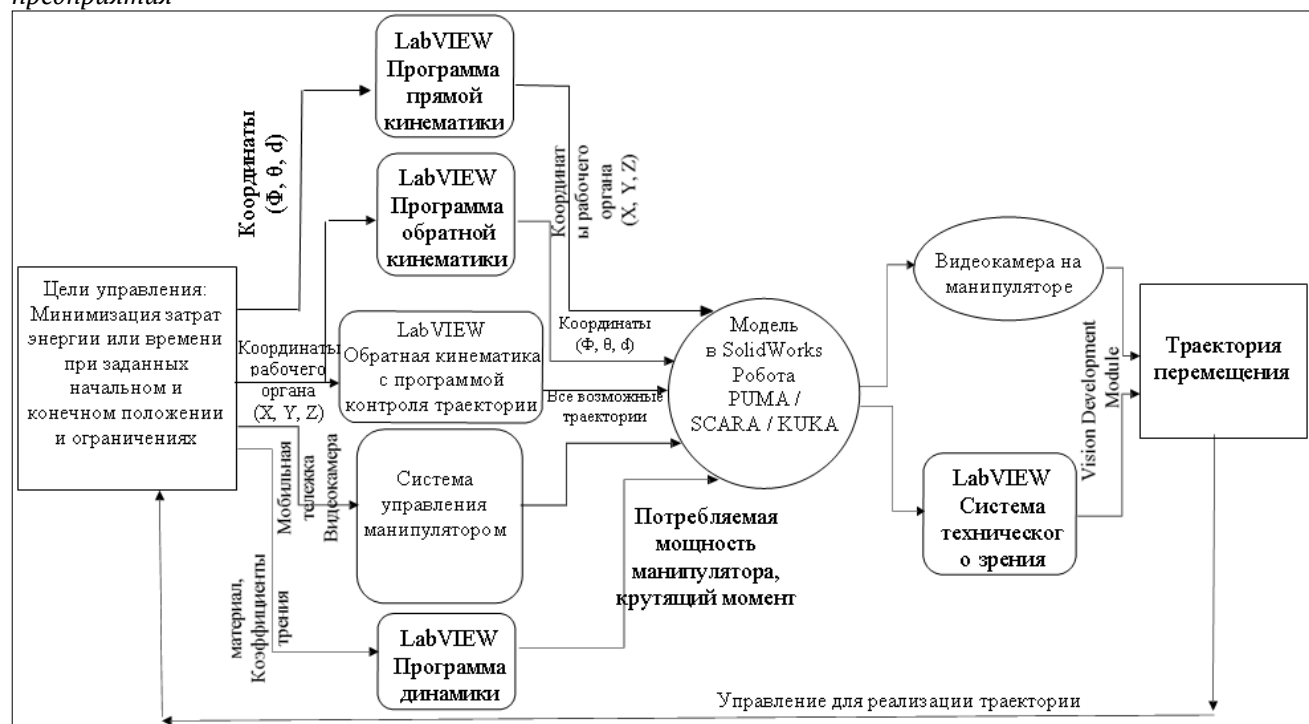
В результате проведенного обзора научно-технической литературы обнаружено, что единого общепринятого метода выбора оптимальной траектории движения роботов манипуляторов не существует. Поэтому были проведены исследования, результаты которых позволили разработать алгоритм управления технологическим манипулятором, обеспечивающий оптимизацию заданного критерия в условиях ограничений (по мощности источника питания и по геометрии рабочей зоны).

В данной работе показано, что гибкость перепрограммирования и простота работы с управлением движения манипуляторов путем выбора оптимальной траектории до сих пор не определены. Для решения данной задачи использовалась программа обратной кинематики и управления роботом KUKA, позволяющая контролировать порядок и расположение вращающихся двигателей. В результате мы получили 16 возможных траекторий концевой эффектора при переходе от одной точки к другой, что позволило определять оптимальную траекторию, выбрав минимальное значение таких параметров, как длина траектории, рабочее время, использованная энергия. Был разработан новый метод прямой и обратной кинематики для 3DOF робота-манипулятора. Решение задач обратной кинематики было осуществлено с помощью развитых геометрических методов.

Ввиду существующей низкой вычислительной сложности обнаружения траектории движущихся цветных объектов с использованием камеры, расположенной на движущемся манипуляторе, в данной работе исследована и разработана система компьютерного зрения для надежного слежения за движением цветных объектов. Экспериментально доказана возможность преобразования координат, инвариантного распознавания объектов с помощью системы машинного зрения. На основании

Рисунок 3

Блок-схема алгоритма структурного синтеза манипулятора для системы маркировки пищевой продукции предприятия



экспериментальных данных установлена зависимость для определения и измерения координат «х, у» динамического движущегося объекта в пикселях от опорной точки обнаружения по пути отслеживания на основе его цветового шаблона с программного комплекса LabVIEW и NI vision assistant. Опробовано использование программы компьютерного зрения для условий движущейся камеры, что подтверждает возможность установки камеры на роботе-манипуляторе в целях использования в различных промышленных приложениях. Показана возможность отслеживания пути обнаружения движущегося цветного объекта. Эта программа может быть использована для поиска всех возможных решений этой проблемы и экономии времени, которое занимают расчеты.

По запросам предприятий пищевой промышленности в связи с острой необходимостью автоматизации контроля качества розлива и маркировки пищевых продуктов в работе создана общая структура разработанной системы управления манипуляторами для контроля качества розлива и маркировки пищевых продуктов. Разработанная структура системы управления технологическим манипулятором обеспечивает оптимальную траекторию движения манипулятора во всём пространстве рабочей зоны за счёт моделирования и учёта физических свойств манипулятора и используемых объектов. Разработан алгоритм структурного синтеза манипулятора для системы маркировки пищевой продукции предприятия. Разработана система компьютерного зрения, работающая совместно с созданной системой управления манипулятором. Предложенная система управления роботом-манипулятором PUMA 560 может быть использована для выполнения многих технологических задач в самых разных отраслях пищевой промышленности.

Заключение

Полученные результаты позволили:

- разработать новый метод управления манипулятором при помощи кинематического анализа с учётом особенностей рассмотренных типовых манипуляторов, позволяющий снизить вычислительные ошибки расчёта траектории и таким образом обеспечить заданную точность позиционирования во всей рабочей зоне;
- предложить новый метод решения задачи имитационного моделирования технологического манипулятора, отличающийся распределением функций между программными средами – быстрой (LabVIEW) и медленной, но

точной (SolidWork), позволяющий рационально использовать вычислительные ресурсы;

- разработать алгоритмы динамического анализа манипуляционных механизмов роботов;
- разработать метод контроля траектории манипулятора, позволяющий избегать нежелательных столкновений в рабочем пространстве с использованием системы компьютерного зрения;
- разработать численные модели манипуляционных механизмов роботов, предназначенных для системы маркировки продукции.

Литература

- Артоболевский, И. И. (2005). *Жизнь и наука: воспоминания* (с. 256 - 287). Наука.
- Балыхин, М. Г., & Благовещенский, И. Г. (2018). Контроль качества кондитерской продукции с использованием различных способов обработки изображений. В *Современное состояние и перспективы развития упаковки в пищевой промышленности* (с. 82 - 85).
- Балыхин, М. Г., Борзов, А. Б., & Благовещенский, И. Г. (2017). *Методологические основы создания экспертных систем контроля и прогнозирования качества пищевой продукции с использованием интеллектуальных технологий*. Франтера.
- Белоусов, И. Р. (2002). *Формирование уравнений динамики роботов-манипуляторов*. Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН.
- Белоусов, И. Р., Богуславский, А. А., Емельянов С. Н., Охоцимский, Д. Е., Платонов, А. К., Сазонов, В.В., & Соколов С. М. (1999). *Взаимодействие робота манипулятора с подвижными объектами*. Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН.
- Белянин, П.Н. (1992). *Кинематические схемы, системы и элементы промышленных роботов*. Машиностроение.
- Белянин, П.Н. (2000). Состояние и развитие техники роботов. *Проблемы машиностроения и надёжность машин*, 2, 85 - 96.
- Благовещенская, М. М. (2009). *Основы стабилизации процессов приготовления многокомпонентных пищевых масс*. Франтера.
- Благовещенская, М. М., Благовещенский, И. Г. & Назойкин, Е. А. (2015). Методика автоматической оценки качества пищевых изделий на основе теории искусственных нейронных сетей. *Пищевая промышленность*, 2, 42 - 45.
- Благовещенская, М. М., & Злобин, Л. А. (2005). *Информационные технологии систем управления технологическими процессами*. Высшая школа.
- Благовещенская, М. М., & Сантон Куннихан, М. П.

- (2017). Структура систем управления дозирования с использованием нейронных сетей. В *Общегуниверситетская студенческая конференция студентов и молодых ученых «День науки»*. (с. 263 – 267).
- Благовещенская М. М., Шаверин А. В., & Благовещенский И. Г. (2012). Автоматизация контроля показателей вкуса шоколадных изделий на основе использования нейронных сетей. *Хранение и переработка сельскохозяйственного сырья*, 8, 50 – 52.
- Благовещенский, И. Г., Макаровская, З. В., Благовещенская, М. М., Чувахин, С. В., & Митин, В. В. (2019). Использование цифровой видеокамеры в качестве интеллектуального датчика системы автоматического регулирования процесса формирования гранулированных пищевых масс. В *Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности* (с. 71-75).
- Благовещенский, И. Г., & Носенко, С. М. (2015). Экспертная интеллектуальная система мониторинга процесса формирования помадных конфет с использованием системы технического зрения. *Пищевая промышленность*, 6, 32 – 36.
- Гарев, К. В., Благовещенский, И. Г., Назойкин, Е. А., Благовещенский, В. Г., & Макаровская, З. В. (2019). Использование технического зрения в качестве инновационного решения в системах «умного дома». В *Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности* (с. 47 – 52).
- Гончаров, К. А., Благовещенский, И. Г., Назойкин, Е. А., Благовещенский, В. Г., & Макаровская З. В. (2019). Использование библиотеки OPENCV для работы с техническим зрением. В *Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности* (с. 53 – 60).
- Зубов, Д. В. (2017). Программный комплекс для моделирования мехатронного манипулятора. В *Национальный Суперкомпьютерный Форум «НСКФ-2017»* (с. 42 – 46).
- Зубов, Д. В. (2016). Современные проблемы управления технологическими манипуляторами в промышленности. В *Математические методы в технике и технологиях. Машиностроение* (с. 233 – 236).
- Иванов Я. В., Благовещенская М. М., & Благовещенский И. Г. (2012). Автоматизация процесса формирования конфетных масс с использованием датчика цифровой видеокамеры (ЦВК). В *Планирование и обеспечение подготовки и переподготовки кадров для отраслей пищевой промышленности и медицины* (с. 215 – 218).
- Кафаров, В. В., & Макаров, В. В. (1990). *Гибкие автоматизированные производственные системы в химической промышленности*. Химия.
- Кафаров, В. В. (1968). *Методы кибернетики в химии и химической технологии*. Химия.
- Крылова, Л. А., Благовещенский, В. Г., & Татаринов, А. В. (2017). Разработка интеллектуальных аппаратно- программных комплексов мониторинга процессов сепарирования дисперсных пищевых масс на основе интеллектуальных технологий. В *Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука* (с. 199 – 201). Издательский комплекс МГУПП.
- Макаров, И. М. (1986). *Робототехника и гибкие автоматизированные производства*. Высшая школа.
- Назойкин, Е. А., Благовещенский, И. Г., Синча, В. М., Жиров, М. В., & Митин, В. В. (2019). Использование имитационного моделирования для идентификации состояния предприятий в пищевой промышленности. В *Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности* (с. 147 – 155).
- Носенко, С. М., Благовещенский, И. Г., Шаверин, А. В., & Благовещенская, М. М. (2014). Автоматизация контроля показателей вкуса шоколадных изделий с использованием интеллектуальных технологий. *Кондитерское и хлебопекарное производство*, 10(153), 56 – 59.
- Петров, А. Ю., Благовещенская, М. М., Благовещенский, В. Г., Ионов, А. В., Благовещенский, И. Г. (2019). Главные принципы при построении системы компьютерного зрения в хлебопекарной промышленности. В *Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности* (с. 121 – 126).
- Петряков, А. Н., Благовещенская, М. М., Благовещенский, В. Г., Митин, В. В., Благовещенский, И. Г. (2019). Повышение качества идентификации и позиционирования объекта на цифровых стерео изображениях при помощи алгоритмов построения карты глубины. В *Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности* (с. 133 – 138).
- Савостин, С. Д., Благовещенская, М. М., Благовещенский, И. Г. (2016). Автоматизация контроля показателей качества муки в процессе размолла с использованием интеллектуальных технологий. Франтера.
- Скопинцев, И.В. (2016). Проектирование системы управления технологическим манипулятором с помощью пакетов LabVIEW и Solid Work. В *Полимерная индустрия: Инновации. Эффективность. Ресурсосбережение. Машиностроение* (с. 57 – 62).
- Филаретов, В. Ф., & Зуев, А. В. (2006). Позиционно-силовое управление электроприводом манипулятора. *Мехатроника, автоматизация, управление*.

- ние, 9, 20-24.
- Шаверин, А. В., Благовещенская, М. М., & Благовещенский, И. Г. (2012). Автоматизация контроля органолептических показателей качества шоколадных изделий. В *Планирование и обеспечение подготовки и переподготовки кадров для отраслей пищевой промышленности и медицины* (с. 209 – 212).
- Эраки, М. Т. Х. (2018). Программный комплекс для решения обратной кинематической задачи робота с тремя вращательными степенями свободы манипулятора. *Естественные и технические науки*, 6, 107–120.
- Эраки, М. Т. Х., & Зубов, Д. В. (2018). Управление и исследование динамики робота-манипулятора с использованием программных пакетов LabVIEW и SolidWorks. *Естественные и технические науки*, 4, 177–183.
- Юревич Е.И. (2005). *Основы робототехники*. Издательство СПбГПУ.
- Alavandar, S., & Nigam, M. J. (2008). Neuro-Fuzzy based Approach for Inverse Kinematics Solution of Industrial Robot Manipulators. *International Journal of Computers, Communications and Control*, 3, 224–234.
- Alcin, O. F. (2016). Extreme learning machine based robotic arm modeling. *International Journal of Robotics Research*, 1160–1163.
- Angeles, J. (1985). On the numerical solution for inverse kinematic problem. *International Journal of Robotics*, 4 (2), 21–37.
- Awcock, G. J. (1995). *Applied Image Processing Hand Book*. Macmillan Press Ltd.
- Baglietto, P. (1996). Image Processing on High-Performance RISC Systems. *Proceedings of the IEEE*, 7, 917–930.
- Benjanarasuth, T., Sowanee, N., & Naksuk, N. (2010). Two-degree-of-freedom simple servo adaptive control for SCARA robot. ICCAS 2010, 480–484. <http://doi.org/10.1109/ICCAS.2010.5669904>
- Bastutchech, C. M. (1989). Techniques for Real-time Generation of Range Images. *Proceedings of the IEEE*, 262–268.
- Brian, H. (2008). What is next for Robotics, Robotic Industries Association. *International Journal of Robotics*, 6(4), 52–57.
- Chaudhary, H., Panwar, V., & Prasad, R. (2014). Adaptive neuro fuzzy based hybrid force/position control for an industrial robot manipulator. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 27(6), 1299–1308.
- Christe, B. (2009). Robotic Application Research: Past, Present. *International Journal of Robotics*, 3(2), 43–47.
- Craig, J. (2005). *Introduction to Robotics Mechanics and Control (Third Edition)*. Pearson Education.
- Davies, E. R. (1990). *Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities Hand Book*. Academic Press Limited.
- Khalal, O. (2007). Robust control of manipulator robot by using the variable structure control with sliding mode. *International Journal of Computers, Communications and Control*, 5, 1–6.
- Kucuk, S., & Bingul, Z. (2004). The inverse kinematics solutions of industrial robot manipulators. *Proceedings of the IEEE International Conference on Mechatronics*, 274 – 279.
- Raghavan, M., & Roth, B. (1993). Inverse kinematics of the general 6R manipulator and the related linkages. *Publishing House Of Mechanical-TRANS*, 5, 502–508.

Quality Control of Bottling and Labelling Food Products with the use of Intelligent Technologies

Eraki Mohamed Taher Hamed¹, Ivan G. Blagoveshchenskiy²,
Vladislav G. Blagoveshchenskiy², Dmitry V. Zubov³

¹ *Mansoura University, Mansoura City, Egypt*

² *Moscow State University of Food Production*

³ *Moscow Polytechnic University*

Correspondence concerning this article should be addressed to Ivan G. Blagoveshchenskiy, Moscow State University of Food Production, 11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation. E-mail: igblagov@mgupp.ru

The article is devoted to improving the efficiency of the food enterprise by developing and implementing an automated control system for the technological manipulator on the line of filling and labeling of food beverages using intelligent technologies. The article defines the relevance of the topic, provides a literary review of production lines for filling and labeling of food products, and analyzes the work on mathematical modeling of the kinematics and dynamics of machines and aggregates combined in food production lines, taking into account their interaction, their interaction with the environment. The necessity of solving kinematic problems, especially problems of reverse kinematics of the robot manipulator, is shown. The analysis carried out in the work showed that the existing universal algorithms for calculating kinematics are simple to write in General, but due to a number of unavoidable disadvantages of resource consumption and have in some cases a large computational error. If technological manipulators are forced to work in areas where this method leads to significant computational errors, this may slow down the movement of the manipulator, which also leads to a decrease in productivity, or require forced changes to the operating mode in order to remove the working body from the center of the working area, which will take up more space for each manipulator. Therefore, instead of using a universal algorithm for calculating kinematics, it is proposed to use a set of simple trigonometric expressions for the conditions of specific movements, which allows maintaining the required accuracy throughout the entire working area. To control the manipulator, find the optimal trajectory, and interact with the reality model program (in the SolidWorks environment), we used programs created in the LabVIEW environment with NI-SoftMotion tools as a controller for controlling the position of the model. To automate the quality control of filling and labeling of food products and modernize the control system of the technological manipulator, algorithms for solving the inverse kinetic problem for robots such as PUMA, SCARA and KUKA, as well as software that implements the developed algorithms, have been developed. The results of the analysis of the use of the optical product recognition system, which takes into account the joint movement of the manipulator and the products, are shown. As a result of the research, a system of virtual prototyping of the mechatronic system has been developed, which allows selecting the manipulator motion control controller and the required motors and parameters for optimizing the filling line and labeling of food products using intelligent technology. Based on the results obtained, an improved model of the Puma 560 robot has been developed, which includes means for moving the manipulator using intelligent technologies, which will increase the efficiency of the filling line and food labeling, and improve their quality indicators.

Keywords: control, filling quality, labeling, food products, intelligent technologies, management system

References

- Alavandar, S., & Nigam, M. J. (2008). Neuro-Fuzzy based Approach for Inverse Kinematics Solution of Industrial Robot Manipulators. *International Journal of Computers, Communications and Control*, 3, 224–234.
- Alcin, O. F. (2016). Extreme learning machine based robotic arm modeling. *International Journal of Robotics Research*, 1160–1163.

How to Cite

Eraky, M. T. H., Blagoveshchenskiy, I. G., Blagoveshchenskiy, V. G., & Zubov, D. V. (2020). Quality Control of Bottling and Labelling Food Products with the use of Intelligent Technologies. *Health, Food & Biotechnology*, 2(1). <https://doi.org/10.36107/hfb.2020.i1.s295>

- Angeles, J. (1985). On the numerical solution for inverse kinematic problem. *International Journal Robotics*, 4 (2), 21–37.
- Awcock, G. J. (1995). *Applied Image Processing Hand Book*. Macmillan Press Ltd.
- Baglietto, P. (1996). Image Processing on High-Performance RISC Systems. *Proceedings of the IEEE*, 7, 917–930.
- Balykhin, M. G., & Blagoveshchenskiy, I. G. (2018). Quality control of confectionery products using various image processing methods. In *Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya upakovki v pishchevoj promyshlennosti* [Current status and development prospects of packaging in the food industry], (pp. 82 – 85).
- Balykhin, M. G., Borzov, A. B., & Blagoveshchenskiy, I. G. (2017). *Metodologicheskie osnovy sozdaniya ekspertnykh sistem kontrolya i prognozirovaniya kachestva pishchevoj produkcii s ispol'zovaniem intellektual'nykh tekhnologiy* [Methodological foundations of creating expert systems for monitoring and forecasting the quality of food products using intelligent technologies]. Izdatel'stvo Frantera.
- Bastuche, C. M. (1989). Techniques for Real-time Generation of Range Images. *Proceedings of the IEEE*, 262–268.
- Belousov, I. R. (2002). *Formirovanie uravnenij dinamiki robotov-manipulyatorov* [Formation of dynamics equations for robotic manipulators]. Institut prikladnoy matematiki im. M.V. Keldysha RAN.
- Belousov, I. R., Boguslavsky, A. A., Emelyanov, S. N., Okhotsimsky, D. E., Platonov, A. K., Sazonov, V. V., Sokolov, S. M. (1999). *Vzaimodejstvie robota manipulyatora s podvizhnymi ob'ektami* [Interaction of a robotic manipulator with moving objects]. Institut prikladnoy matematiki im. M.V. Keldysha RAN.
- Belyanin, P. N. (1992). *Kinematicheskie skhemy, sistemy i elementy promyshlennykh robotov* [Kinematic schemes, systems and elements of industrial robots]. Mashinostroyeniye.
- Belyanin, P. N. (2000). State and development of robot technology. *Problemy mashinostroyeniya i nadezhnost' mashin*. RAS [Engineering problems and machine reliability. RAS], 2, 85 - 96.
- Benjanarasuth, T., Sowanee, N., & Naksuk, N. (2010). Two-degree-of-freedom simple servo adaptive control for SCARA robot. ICCAS 2010, 480–484. <http://doi.org/10.1109/ICCAS.2010.5669904>
- Blagoveshchenskaya, M. M. (2009). *Osnovy stabilizatsii processov prigotovleniya mnogokomponentnykh pishchevyykh mass* [Basics of stabilization of the preparation of multicomponent masses]. Izdatel'stvo Frantera.
- Blagoveshchenskaya, M., M., Blagoveshchenskiy, I. G., & Nazoykin E. A. (2015). The technique of automatic assessment of the quality of food products based on the theory of artificial neural networks. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food Industry], 2, 42 - 45.
- Blagoveshchenskaya, M. M., & Zlobin, L. A. (2005). *Informatsionnye tekhnologii sistem upravleniya tekhnologicheskimi processami* [Information technology of process control systems]. Izdatel'stvo Vysshaya shkola.
- Blagoveshchenskaya, M. M., & Santon Kunnikhan, M. P. (2017). The structure of dosing control systems using neural networks. In *Obshcheuniversitetskaya studencheskaya konferentsiya studentov i molodykh uchennykh «Den' nauki»* [University Conference of Students and Young Scientists “Science Day”] (s. 263 – 267).
- Blagoveshchenskaya, M. M., Shaverin, A. V., & Blagoveshchenskiy, I. G. (2012). Automation of control of taste indicators of chocolate products based on the use of neural networks. *Khraneniye i pererabotka sel'skokhozyaystvennogo syr'ya* [Storage and processing of agricultural raw materials], 8, 50 - 52.
- Blagoveshchenskiy, I. G., Makarovskaya, Z. V., Blagoveshchenskaya, M. M., Chuvakhin, S. V., & Mitin, V. V. (2019). Using a digital video camera as an intelligent sensor of an automatic control system for the molding of granular food masses. In *Intellektual'nye sistemy i tekhnologii v otraslyah pishchevoj promyshlennosti* [Intelligent systems and technologies in food industries] (s. 71–75).
- Blagoveshchenskiy, I. G., Nosenko S.M. (2015). Expert intellectual system for monitoring the process of molding fondant sweets using the vision system. *Food Industry* [Pishchevaya promyshlennost'], 6, 32 - 36.
- Brian, H. (2008). What is next for Robotics, Robotic Industries Association. *International Journal Robotics*, 6(4), 52–57.
- Chaudhary, H., Panwar, V., & Prasad, R. (2014). Adaptive neuro fuzzy based hybrid force/position control for an industrial robot manipulator. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 27(6), 1299–1308.
- Christe, B. (2009). Robotic Application Research: Past, Present. *International Journal Robotics*, 3(2), 43–47.
- Craig, J. (2005). *Introduction to Robotics Mechanics and Control (Third Edition)*. Pearson Education.
- Davies, E. R. (1990). *Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities Hand Book*. Academic Press Limited.
- Garev, K. V., Blagoveshchenskiy, I. G., Nazoykin, E. A., Blagoveshchenskiy, V. G., & Makarovskaya, Z. V. (2019). Using technical vision as an innovative solution in smart home systems. In *Intellektual'nye sistemy i tekhnologii v otraslyah pishchevoj promyshlennosti* [Intelligent systems

- and technologies in the food industry] (s.47-52).
- Goncharov, K. A., Blagoveshchensky, I. G., Nazoykin, E. A., Blagoveshchensky, V. G., & Makarovskaya, Z. V. (2019). Using the OPENCV library for working with technical vision. In *Intellektual'nye sistemy i tekhnologii v otraslyah pishchevoj promyshlennosti* [Intelligent systems and technologies in the food industry] (s. 53 – 60).
- Zubov, D. V. (2017). A software package for modeling a mechatronic manipulator. In *Nacional'nyj Superkomp'yuternyj Forum «NSKF-2017»* [Nacional'nyj Superkomp'yuternyj Forum "NSKF-2017"] (s. 42-46).
- Zubov, D. V. (2016). Modern problems of controlling technological manipulators in industry. In *Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiyah. Mashinostroenie* [Mathematical methods in engineering and technology. Mechanical Engineering] (s. 233 – 236).
- Ivanov, Y. V., Blagoveshchenskaya, M. M., & Blagoveshchenskiy, I. G. (2012). Automation of the process of molding candy masses using a digital video camera (CVC) sensor. In *Planirovanie i obespechenie podgotovki i perepodgotovki kadrov dlya otraslej pishchevoj promyshlennosti i mediciny* [Planning and providing training and retraining of personnel for the food industry and medicine] (s. 215 – 218).
- Kafarov, V. V., & Makarov, V. V. (1990). *Gibkie avtomatizirovannye proizvodstvennye sistemy v himicheskoy promyshlennosti*. [Flexible automated manufacturing systems in the chemical industry]. Khimiya.
- Kafarov, V. V. (1968). *Metody kibernetiki v himii i himicheskoy tekhnologii* [Cybernetics methods in chemistry and chemical technology]. Khimiya.
- Khalal, O. (2007). Robust control of manipulator robot by using the variable structure control with sliding mode. *International Journal of Computers, Communications and Control*, 5, 1–6.
- Krylova, L. A., Blagoveshchenskiy, V. G., & Tatarinov, A. V. (2017). Development of intelligent hardware and software systems for monitoring the separation of dispersed food masses based on intelligent technologies. In *Razvitie pishchevoj i pererabatyvayushchej promyshlennosti Rossii: kadry i nauka* [The Development of the Food and Processing Industry of Russia: Personnel and Science] (pp. 199 – 201). Izdatel'skiy kompleks MGUPP.
- Kucuk, S., & Bingul, Z. (2004). The inverse kinematics solutions of industrial robot manipulators. *Proceedings of the IEEE International Conference on Mechatronics*, 274 – 279.
- Makarov I.M. (1986). *Robotics and flexible automated production* (pp. 320 – 375). Izdatel'stvo Vysshaya shkola [High school publishing house].
- Nazoykin E.A., Blagoveshchenskiy I.G., Sincha V.M., Zhiron M.V., Mitin V.V. (2019). The use of simulation to identify the state of enterprises in the food industry. In *the collection: Intelligent systems and technologies in the food industry industries Conference proceedings* (pp. 147 – 155). Izdatel'skiy kompleks MGUPP [Publishing complex MGUPP].
- Nosenko, S. M., Blagoveshchenskiy, I. G., Shaverin, A. V., & Blagoveshchenskaya, M. M. (2014). Automation of control of taste indicators of chocolate products using intelligent technologies. *Konditerskoye i khlebopekarnoye proizvodstvo* [Confectionery and bakery production], 10(153), 56 – 59.
- Petrov, A. Yu., Blagoveshchenskaya, M. M., Blagoveshchenskiy, V. G., Ionov, A. V., & Blagoveshchenskiy, I. G. (2019). The main principles in building a computer vision system in the baking industry. In *Intellektual'nye sistemy i tekhnologii v otraslyah pishchevoj promyshlennosti* [Intelligent systems and technologies in the food industry] (pp. 121 – 126).
- Petryakov, A. N., Blagoveshchenskaya, M. M., Blagoveshchenskiy, V. G., Mitin, V. V., Blagoveshchenskiy, I. G. (2019). Improving the quality of identification and positioning of an object in digital stereo images using depth mapping algorithms. In *Intellektual'nye sistemy i tekhnologii v otraslyah pishchevoj promyshlennosti* [Intelligent systems and technologies in the food industry] (pp. 133 – 138).
- Raghavan, M., & Roth, B. (1993). Inverse kinematics of the general 6R manipulator and the related linkages. *Publishing House Of Mechanical-TRANS*, 5, 502–508.
- Savostin, S. D., Blagoveshchenskaya, M. M., & Blagoveshchenskiy, I. G. (2016). *Avtomatizatsiya kontrolya pokazatelej kachestva muki v processe razmola s ispol'zovaniem intellektual'nyh tekhnologij* [Automation of control of flour quality indicators during grinding using intelligent technologies]. Frantera.
- Skopintsev, I. V. (2016). Designing a control system for a technological manipulator using LabVIEW and Solid Work packages. In *Polimernaya industriya: Innovacii. Effektivnost'. Resursosberezhenie. Mashinostroenie* [Polymer industry: Innovation. Efficiency. Resource Saving. Engineering] (pp. 57 – 62).
- Filaretov, V. F., & Zuev, A. V. (2006). Positional-force control of the manipulator electric drive. *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravleniye* [Mechatronics, Automation, Control], 9, 20-24.
- Shaverin, A. V., Blagoveshchenskaya, M. M., &

- Blagoveshchenskiy, I. G. (2012). Automation of the control of organoleptic quality indicators of chocolate products. In *Planirovanie i obespechenie podgotovki i perepodgotovki kadrov dlya otraslej pishchevoj promyshlennosti i mediciny* [Planning and providing training and retraining of personnel for the food industry and medicine] (pp. 209 – 212).
- Eraki, M. T. H. (2018). A software package for solving the inverse kinematic problem of a robot with three rotational degrees of freedom of the manipulator. *Zhurnal «Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki»* [The journal «Natural and technical sciences»], 6, 107–120.
- Eraki, M. T. H., & Zubov, D. V. (2018). Management and research of the dynamics of the robotic arm using LabVIEW and SolidWorks software packages. *Zhurnal «Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki»* [The journal «Natural and technical sciences»], 4, 177–183.
- Yurevich, E. I. (2005). *Osnovy robototekhniki* [Fundamentals of Robotics] (pp. 85 – 126). Izdatel'stvo SpbGPU.

Усовершенствование технологии плодово-ягодных соков с использованием пектолитических ферментов

Бутова Светлана Николаевна¹, Вольнова Екатерина Романовна¹,
Николаева Юлия Владимировна¹, Едличкова Яна²

¹ ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

² ООО «АЖЕТО», Прага, Чехия

Корреспонденция, касающаяся этой статьи, должна быть адресована Николаевой Ю.В., ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», адрес: 125080, город Москва, Волоколамское шоссе, дом 11. E-mail: organikamgupp@mail.ru

В условиях неблагоприятной экологической обстановки, нарушения структуры питания населения, ограниченности сырьевых растительных источников пищи существует потребность в высококачественных пищевых продуктах, отвечающих не только отечественным, но и зарубежным требованиям. Особое значение в структуре питания имеют плодово-ягодные соки и напитки на их основе, обладающие высокой пищевой ценностью. Перед соковой индустрией уже давно стоит вопрос создания технологии, позволяющей максимально извлекать сок без потери его питательных и органолептических свойств. В настоящей статье предложен способ усовершенствования технологии получения сока из яблок и черной смородины при помощи использования пектолитических ферментов, продуцентом которых являются дрожжи *Zygodactylopsora marxiana* ВКМ У-848. В ходе проведения исследований было установлено, что действие дрожжевой эндополигалактуроназы (активность 3000 ед/см³) в дозировке от 0,004 до 0,01 % к массе сырья в диапазоне температур от 10 °С до 40 °С в течение 2-24 часов существенно увеличивает выход сока. При добавлении 0,01 % фермента к массе мезги при температуре 30 °С и продолжительности гидролиза 12 часов выход сока увеличился на 25-30 %. Также, в результате действия фермента снизилась кислотность соков на 15-45 % в зависимости от вида сырья. Количество сахаров в яблочном соке увеличилось на 3-5 %, в черносмородиновом соке содержание сахара возросло на 12-15 % по сравнению с соками, полученными из сырья, не подвергавшемуся ферментативной обработке. Ключевым моментом исследования стало снижение вязкости соков, что в дальнейшем существенно увеличило скорость фильтрации. Таким образом, была доказана целесообразность применения ферментов пектолитического действия в технологии соковых продуктов с целью её усовершенствования.

Ключевые слова: пектолитические ферменты, яблоки, черная смородина, сок, ферментативный гидролиз, дрожжи *Zygodactylopsora marxiana* ВКМ У-848

Введение

Создание ресурсосберегающих технологий, безотходных и малоотходных производств является актуальной задачей экономической и экологической обстановки в современном мире. Перед человеческим обществом уже давно возникла проблема ограниченности пищевых ресурсов, в частности источников пищевых веществ растительного происхождения. Одним из путей решения этой проблемы является создание биотехнологических производственных циклов, позволяющих пол-

ностью перерабатывать растительное сырьё, включая деградацию отходов. Ключевая роль в организации таких процессов принадлежит ферментным препаратам, особенно мультиэнзимным комплексам.

Литературный обзор

Плодоовощная промышленность, как один из крупнейших секторов АПК России, в настоящее время нуждается в решении вопроса, касающего-

ся переработки растительных отходов (Исригова, 2018). Отходы растительного сырья в сыром виде представляют большую угрозу для окружающей среды, помимо этого, образование отходов в большом количестве существенно снижают производственную и экономическую эффективность предприятий (Шамцян, 2011).

В связи с этим, в технологиях переработки плодового и ягодного сырья стали активно применяться ферментные комплексы, обладающие пектолитической активностью (Толкачева, 2017; Артюлова, 2018). Пектолитические ферменты способны катализировать распад отходов плодовых и ягодных перерабатывающих производств, главным образом, осуществляя деструкцию пектиновых веществ клеточных стенок растительных клеток (Римарева, 2017)¹.

Пектолитические ферменты пользуются большим спросом у производителей пищевых продуктов, особенно в индустрии сокосодержащих напитков (Mahmodu, 2017; Fauster, 2020), что свидетельствует о необходимости проведения исследований, направленных на поиск новых перспективных продуцентов пектиназ, анализ физико-химических и биохимических особенностей роста продуцентов, синтез ферментов, выделение и очистку ферментов, не имеющих сопутствующей пектинэстеразы. Наличие пектинэстеразы в комплексе резко снижает вязкость сока, тем самым создание соков с мякотью становится невозможным, так как происходит их расслоение (Кожухов, 2003). Особую значимость имеют исследования, посвящённые практическому применению пектиназ в технологии переработки плодового, ягодного сырья и их отходов.

В соковой промышленности пектолитические ферменты уже зарекомендовали себя как эффективное вспомогательное технологическое средство, позволяющее снижать количество отходов, осветлять соки, ускорять фильтрацию посредством снижения вязкости (Шубаков, 2013; Сергеева, 2013). Что касается переработки растительных отходов соковой промышленности (жомов, выжимок, мезги и т.д.), то и в данном случае пектолитические ферменты оказывают неоценимую пользу – способствуют выделению из отходов пищевых натуральных красителей, танинов и, что имеет особое значение, пектиновых веществ (Аверьянова, 2015; Nikitchina, 2015).

Теоретическое обоснование

Для выделения и синтеза пектолитических ферментов большое значение имеет вид и природа продуцента. Согласно результатам ряда авторитетных исследований, уже изучены продуценты бактериальной и дрожжевой природы: *Bussochlamys fulva*, культивируемый на жидкой среде (Lakhanpal, 2016); плодовые тела *Pleurotus sajor-caju* – твёрдофазное культивирование (Pereira, 2017); *Aspergillus niger*, культивируемый на твёрдой среде (Mahmodi, 2017); *Aspergillus flavipes* FP-500, культивируемый на жидкой питательной среде (Torres-Barajas, 2019); *Aspergillus foetidus* – твёрдофазное культивирование (Semenova, 2019); *Aurobasidium pullulans* GM-R-22 (Merin, 2018); *Penicillium canescens*, *Penicillium verruculosum* – культивирование на жидкой среде (Semenova, 2019); *Bacillus licheniformis* DY 2 (Du, 2019), *Bacillus safensis* M 35, *Bacillus altitudinis* R 31, J 208, культивируемые на жидкой среде (Thite, 2019); *Paenibacillus barengoltzii* A1-50 L 2 – жидкофазное культивирование (Ticona, Alonso, 2020).

Очевидно, что при выборе продуцента пектолитических ферментов предпочтение отдаётся микроорганизмам дрожжевой природы. Это связано, в первую очередь, с тем, что они «технологичны»: дрожжи без особого труда культивируются в промышленных условиях, обладают высокой скоростью роста и размножения, продуцируют в достаточном количестве ферментативные комплексы и легко отделяются от культуральной среды (Банницына, 2016; Гугучкина, 2013).

Отмечено, что наибольшее распространение получило жидкофазное культивирование в силу простоты проведения культивирования, возможности его контроля и др. Однако выращивание продуцентов на твёрдых средах имеет большой потенциал: низкая массовая доля влаги существенно снижает риск контаминации посторонними микроорганизмами, близость к природной среде размножения большинства грибов, малые энергозатраты, высокая концентрация необходимого биопродукта и пр. (Кулишов, 2014).

Zigofabospora marxiana – это род дрожжей, который уже доказал свою эффективность накопления комплекса пектолитических ферментов,

¹ Шлейкин, А. Г. (2015). Основы биоконверсии: Учеб.-метод. пособие. СПб.: Университет ИТМО, 23-27.

которые были использованы в ферментативной обработке растительного сырья, содержащего пищевые красители, флавоноиды (Кривченкова, 2012). По литературным данным *Zigofabospora marxiana* способна синтезировать до 90 % из всех секретируемых белков полигалактуроназу (Шаламитский, 2014). Целесообразно исследовать возможность применения данного продуцента в переработке плодово-ягодного сырья и отходов.

Исходя из этого, целью настоящей работы является экспериментальное обоснование биотехнологических процессов деградации плодово-ягодного сырья и отходов пектолитическими ферментами дрожжей *Zigofabospora marxiana* для усовершенствования технологии плодово-ягодных соков. Для реализации цели ставились следующие задачи:

1. исследование характеристик продуцента *Zigofabospora marxiana* и *Aspergillus*;
2. определение оптимальных условий биосинтеза пектолитических ферментов;
3. установление оптимума работы полигалактуроназы;
4. исследование зависимостей выхода сока от различных параметров гидролиза (вида сырья, продолжительности процесса, температуры, количества ферментного препарата);
5. анализ основных качественных характеристик полученных соков.

Предполагается, что ферментативная обработка плодово-ягодного сырья и отходов комплексом пектолитических ферментов будет способствовать увеличению выхода, снижению продолжительности производственного цикла и улучшению органолептических и потребительских свойств соков.

Материалы и методы

Материалы

Продуценты пектолитических ферментов

- Дрожжи *Zigofabospora marxiana* ВКМ Y-848;
- Микроскопические грибы *Aspergillus*.

Плодово-ягодные отходы:

- яблочные отходы;
- цитрусовые отходы;
- черносмородиновые отходы.

Пектины:

- яблочный пектин;
- цитрусовый пектин;
- черносмородиновый пектин.

Методы

1. Определение ферментативных активностей пектолитических ферментов:
 - пектолитическую активность определяли по ГОСТ Р 55298-2012;²
 - протеолитическую активность измеряли согласно ГОСТ 20264.2-88;³
 - глюкоамилазную активность – по ГОСТ 20264.4-89;⁴
 - целлюлазную активность по – ГОСТ Р 55293-2012;⁵
 - гемицеллюлазную активность по – ГОСТ Р 55302-2012;⁶
2. Определение массовой доли редуцирующих веществ, образовавшихся в ходе ферментативной реакции, определяли методом Шомоди-Нельсона (Серба, 2015).

Методика исследования

Оборудование

Весы AND DL-2000 WP (2005 г. выпуска); вытяжной лабораторный шкаф ШВЛ-06.1; аэрометр АСП-1; термометр жидкостной стеклянный ТС-7-М1; влагомер MB-23 Ohaus, магнитная мешалка MS-500 Intllab; термостат суховоздушный ТСО-1180 СПУ; фотоэлектроколориметр КФК-2УХЛ; холодильник Electolux ERN29850; электрическая плитка «Лазурь», водяная баня UT4308; автоклав лабораторный МПК-04; анализатор жидкости SevenCompact S220; эксикатор; центрифуга настольная ЕВА-20; встряхиватель лабораторный VM-2000; стеклянный капиллярный вискозиметр марки ВПЖ-1; лабораторная стеклянная посуда.

² ГОСТ Р 55298-2012 Ферментные препараты для пищевой промышленности. Методы определения пектолитической активности Введ. 2014-01-01. М.: Стандартиформ, 2014. 15 с.

³ ГОСТ 20264.2-88 Препараты ферментные. Методы определения протеолитической активности (с Изменением N 1). Введ. 1989-01-01. Государственный комитет СССР по стандартам, 1989. 15 с.

⁴ ГОСТ 20264.4-89 Препараты ферментные. Методы определения амилолитической активности (с Изменением N 1). Государственный комитет СССР по стандартам, 1989. 27 с.

⁵ ГОСТ Р 55293-2012 Ферментные препараты для пищевой промышленности. Метод определения целлюлазной активности (с Поправкой, с Изменением N 1). Введ. 2014-01-01. Стандартиформ, 2014. 14 с.

⁶ ГОСТ Р 55302-2012 Ферментные препараты для пищевой промышленности. Метод определения ксиланазной активности. Введ. 2012-29-11. М.: Стандартиформ, 2013. 10 с.

Процедура исследования

Дрожжи *Zigofabospora marxiana* ВКМ Y-848 были взяты из отдела типовых культур Института микробиологии АН РФ, грибные микроорганизмы (*Aspergillus*) получены из коллекций кафедры биологии почв Московского Государственного Университета им. Ломоносова и кафедры биотехнологии Московского Государственного Университета пищевых производств.

Культивирование микроскопических грибов *Aspergillus* осуществляли в аэробных условиях, дрожжей *Zigofabospora marxiana* ВКМ Y-848 – в анаэробных. В качестве питательной среды был использован агар с добавлением яблочного сусла, основным углеродным компонентом среды служили пектиновые вещества различных растительных источников (яблочный, цитрусовый и черносмородиновый), вместо ранее изученной молочной сыворотки (Лыско, 2007). В качестве контрольного образца для дрожжей использовалась среда с молочной сывороткой, для грибов – среда с свекловичным жомом.

Определяли ферментативные активности (пектолитическую, протеолитическую, глюкоамилазную, целлюлазную и гемицеллюлазную) полученных бесклеточных фильтратов дрожжевых и грибных культур общеизвестными гостированными методами.

Далее проводили ферментативный гидролиз субстратов (отходы яблочного, цитрусового и черносмородинового сырья) с использованием указанных фильтратов. Ферментацию осуществляли в течение 45-60 минут при температуре 28-30 °С. Для того, чтобы установить оптимум действия целевого фермента (полигалактуроназа) изучали влияние изменения pH (от 3,0 до 6,0) и температуры (28-37 °С).

На заключительной стадии исследования, в рамках настоящей статьи, исследовали влияние вида растительной добавки (яблочный пектин, цитрусовый

пектин, черносмородиновый пектин, яблочно-цитрусовая смесь пектинов) на ферментативные активности полученного ферментного комплекса. Рассматривали влияние продолжительности обработки (от 2 до 24 часов), температуры (от 10 до 40 °С) и концентрации ферментного комплекса со стандартной активностью дрожжевой эндополигалактуроназы 3000 ед/см³ в диапазоне от 0,004 % до 0,01 % к массе субстрата на выход сока в % от массы сырья.

Полученные плодовые и ягодные соки подвергались органолептическому анализу, особое внимание обращали на прозрачность сока, физико-химическому анализу (определение вязкости, содержания редуцирующих веществ, титруемой кислотности).

Анализ данных

Количественные данные, полученные в ходе исследования, подчиняются нормальному закону распределения. Исходя из этого, для снижения % ошибки опытов и их воспроизводимости, рассчитывали среднее и стандартное отклонение, пользуясь пакетом прикладных программ STATISTICA.

Результаты

Установлены оптимальные условия культивирования продуцентов пектолитических ферментов на агаризованной питательной среде с добавлением яблочного сусла и пектиновых веществ: продолжительность 2,5-3 суток, температура 28-30 °С, для дрожжей *Zigofabospora marxiana* ВКМ Y-848 оптимальны анаэробные условия, для *Aspergillus* – аэробные. В таблице 1 приведены характеристики указанных продуцентов.

При исследовании продуктивности *Z. marxiana* в зависимости от вида и дозы посевного материала, установили, что высокий уровень активности эндополигалактуроназы проявляется при использовании инокулянта на вторые сутки в количе-

Таблица 1

Характеристика продуцентов пектолитических ферментов *Z. marxiana*, *A. niger* и *A. foetidus*

№ п.п.	Продуценты	Активности ферментов, ед/см ³						
		Пектолитическая		Протеолитическая	Глюкоамилазная	Целлюлазная		Гемицеллюлазная
		ПГ	ПЭ			C ₁	C _x	
1	<i>Z. marxiana</i>	1526	11,5	2,67	4,30	1,12	1,18	8,73
2	<i>A. niger</i>	330	13,0	1,25	4,10	0,32	0,07	3,21
3	<i>A. foetidus</i>	565	29,0	1,25	4,15	0,94	2,48	5,42

стве 1 % по объёму. При пересевах и хранении посевного материала при $t = 4^{\circ}\text{C}$, что чрезвычайно важно для промышленного использования продуцента, жизнеспособность культуры сохранялась.

При изучении влияния времени культивирования продуцента на накопление фермента отмечена лучшей 96-часовая продолжительность.

Был установлен оптимум действия целевого фермента: полигалактуроназа активна на 90 % при $\text{pH}=4,5-5,5$ и температуре 30°C .

Далее определено влияние присутствия различных пектиновых веществ в питательной среде на активности пектолитических ферментов, результаты отражают диаграммы 1, 2, 3, 4, 5 и 6.

На заключительной стадии исследования, анализировался выход сока из плодово-ягодного сырья при различной продолжительности обработки ферментным комплексом в диапазоне его дозировок от 0,004 до 0,01 % к массе сырья. Установлено, что наилучших результатов удалось добиться при использовании пектолитических ферментов в

Диаграмма 1

Влияние пектиновых растворов на полигалактуроназную активность

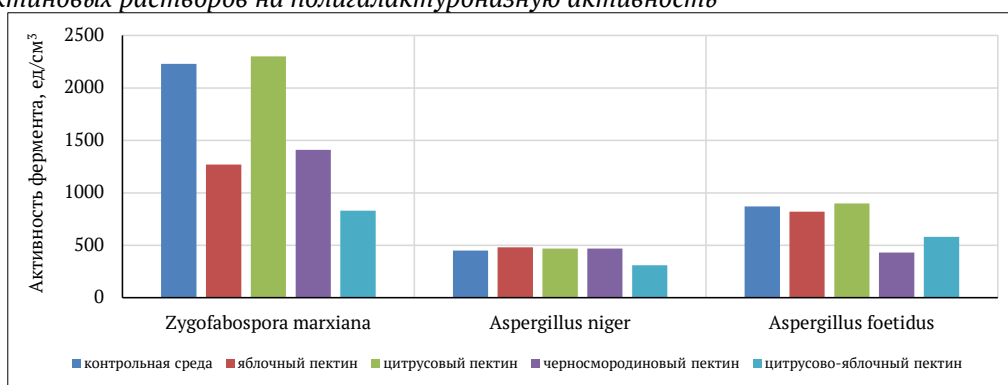


Диаграмма 2

Влияние пектиновых растворов на пектинэстеразную активность

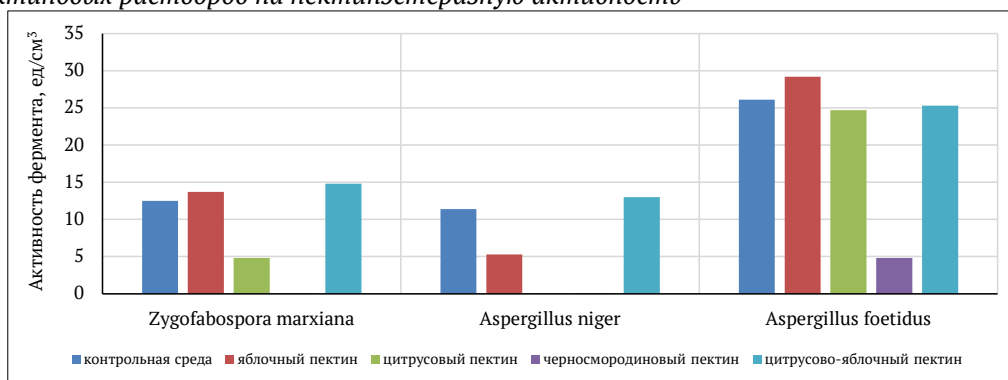


Диаграмма 3

Влияние пектиновых растворов на протеолитическую активность

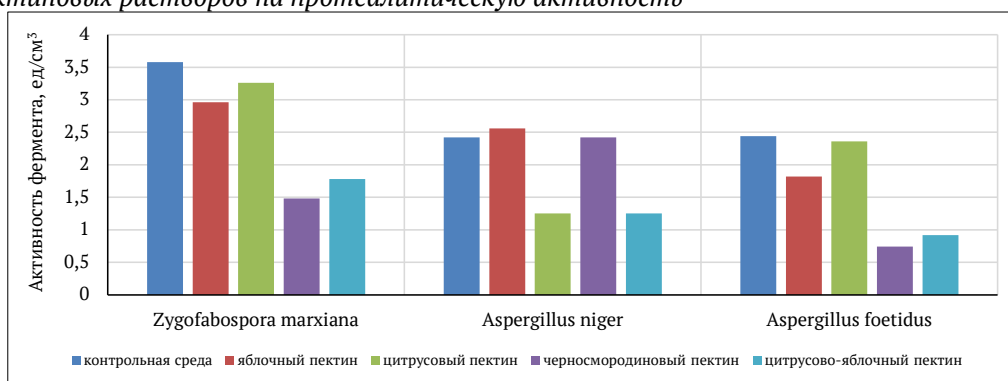


Диаграмма 4

Влияние пектиновых растворов на целлюлазную активность

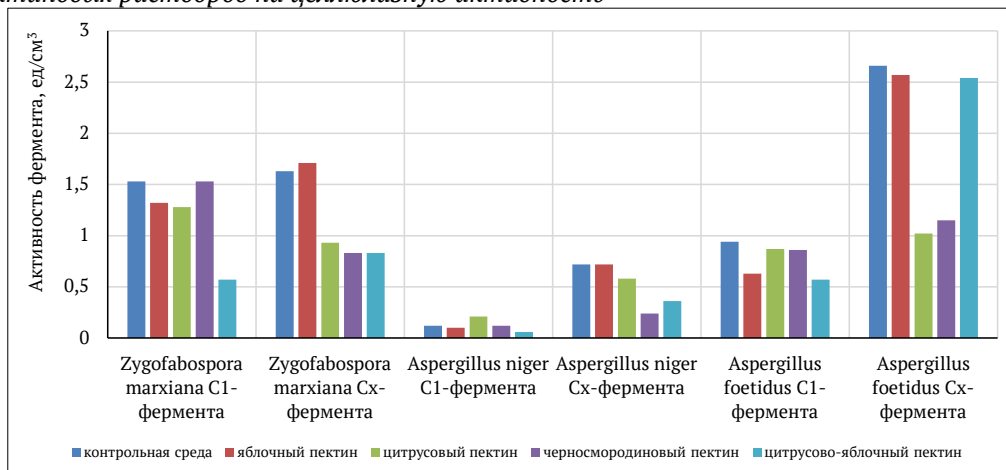


Диаграмма 5

Влияние пектиновых растворов на глюкоамилазную активность

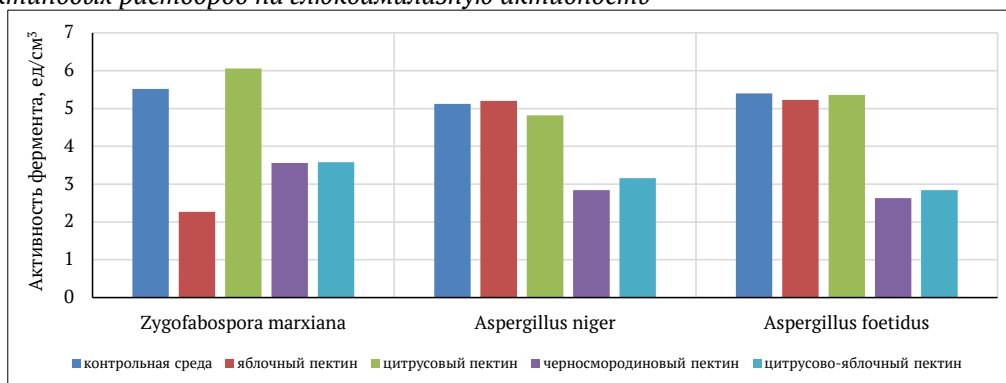
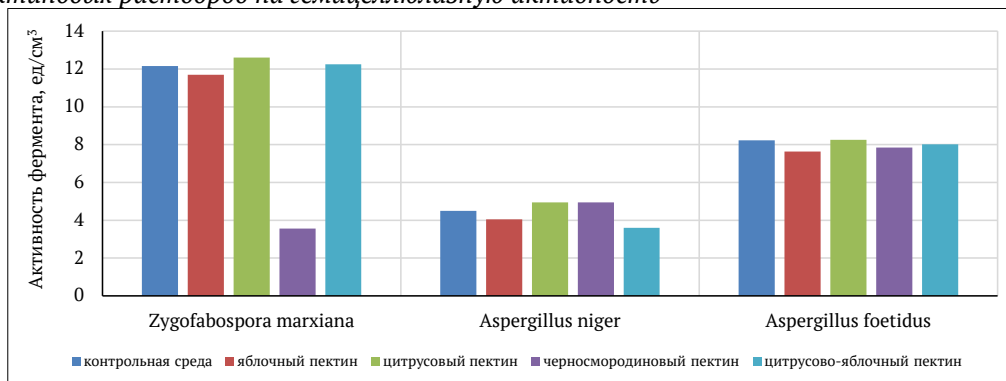


Диаграмма 6

Влияние пектиновых растворов на гемицеллюлазную активность



количестве 0,01% к массе сырья при температуре 30 °С, продолжительности 12 часов. Результаты отражает диаграмма 7.

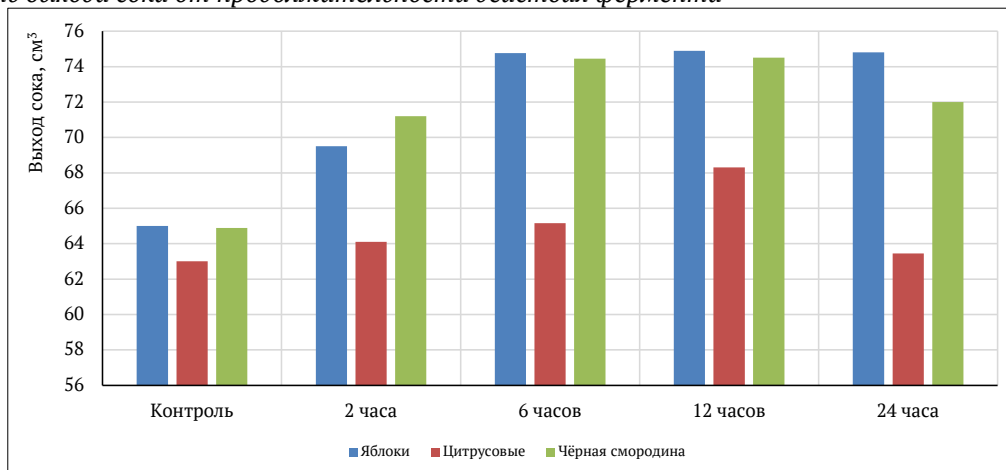
Обсуждение полученных результатов

Анализ пектолитического комплекса ферментов у дрожжей *Z. marxiana* и грибов *A. niger* и *A. foetidus* свидетельствует о наибольшей способности дрожжей накапливать полигалактуроназу, со-

ставляющую около 90 % от всех присутствующих белков, что подтверждается литературными данными (Шаламский, 2014). Но, наличие гена, контролирующего образование целевого фермента, не означает, что его биосинтез будет в достаточном количестве. Исходя из этого, был необходим подбор качественного и количественного состава питательной среды. Исследовав влияние наличия пектиновых веществ в среде на синтез пектолитических ферментов и их активность, можно констатировать, что все используемые растворы

Диаграмма 7

Зависимость выхода сока от продолжительности действия фермента



пектинов увеличивали накопление пектиназ, в частности полигалактуроназы. Однако стоит отметить и негативный момент: увеличение полигалактуроназной активности сопровождается накоплением пектинэстераз, которое, как свидетельствуют ранее проведённые исследования (Кожухов, 2003), отрицательно скажется в дальнейшем на качестве сока. Соответственно, существует необходимость в очистке ферментного комплекса от нежелательных составляющих.

Полученные ферменты были апробированы на плодово-ягодном сырье. В ходе этого было выяснено, что выход сока увеличился на 25-30% (варьируется в зависимости от вида сырья). Оптимальными признаны следующие параметры: количество ферментного комплекса 0,01% от массы сырья, продолжительность – 12 часов, температура 30 °С. Увеличение продолжительности гидролиза приводило к процессам брожения в соке, о чём свидетельствовало снижение массовой доли редуцирующих веществ, а также ухудшалась прозрачность сока, фильтрация была затруднена.

Полученные соки прошли органолептические (цвет, вкус, запах, прозрачность) и физико-химические испытания, показатели соответствовали требованиям ГОСТ 32920-2014.⁷

Установлено, что обработка ферментами привела к снижению кислотности соков на 14-45%, увеличению массовой доли сахара у яблочного сырья на 3-5%, у черносмородинового сырья на 12-15% и у цитрусового сырья на 3-3,5%. Наблюдали снижение вязкости соков от 5 до 18%, что привело, в ко-

нечном счёте, к увеличению эффективности и скорости фильтрации.

Заключение

Таким образом, можно утверждать о возможности использования дрожжей *Z. marxiana* в качестве промышленного продуцента пектолитических ферментов, который имеют перспективы использования в переработки отходов плодово-ягодного сырья. Очищенные пектолитические ферменты указанных дрожжей могут стать эффективным технологическим вспомогательным средством, позволяющим осветлять соки и сокодержательные продукты, увеличивать скорость фильтрации.

Литература

- Аверьянова, Е. В., & Грищенко, О. В. (2015). Комплексная переработка вторичных продуктов сокового производства на примере жома жимолости. В *Фундаментальные и прикладные аспекты биотехнологии* (с. 98-100).
- Артюхова, С. И., Красникова, Ю. В., & Плохова, И. Ю. (2018). Анализ рынка ферментов промышленного назначения. В *Интеграция науки и высшего образования в области био- и органической химии и биотехнологии* (с. 67-68).
- Банницына, Т. Е., Канарский, А. В., Щербаков, А. В., Чеботарь, В. К., & Кипрушкина, Е. И. (2016). Дрожжи в современной биотехнологии. *Вестник Международной академии холода*, 1, 24-29.

⁷ ГОСТ 32920-2014 Продукция соковая. Соки и нектары для питания детей раннего возраста. Общие технические условия. Введ. 2016-01-01. М.: Стандартинформ, 2015. 16 с.

- Гугучкина, Т. И., & Агеева Н. М. (2013). Биотехнология – ключевое звено в развитии виноделия. *Научные труды Государственного научного учреждения Северо-Кавказского зонального научно-исследовательского института садоводства и виноградарства Российской академии сельскохозяйственных наук*, 4, 59-62.
- Исригова, В. С., Исригова, Т. А., Салманов, М. М., Сайпуллаев, А. Н., & Курбанова, А. Б. (2018). Использование вторичных ресурсов для производства продуктов питания повышенной пищевой и биологической ценности. В *Инновационный подход в стратегии развития апк России* (с. 94-99).
- Кожухов, М. А., Теркун, А. Н., Рожков, С. Е. (2003). Биотехнологические методы в производстве плодовоовощных соков и нектаров. *Известия вузов. Пищевая технология*, 4, 5-8.
- Кривченкова, М. В., & Бутова, С. Н. (2012). Совершенствование способов извлечения биологически активных веществ фенольной природы из растительного сырья. *Известия вузов. Пищевая технология*, 4, 56-58.
- Кулишов, Б. А., & Туан, Л. А. (2014). Применение технологии твердофазной ферментации в производстве биопродуктов. *Вестник Казанского технологического университета*, 17 (23), 258-261.
- Лыско, К. А. (2007). *Разработка технологии дрожжевых обогатителей пищи на базе молочной сыворотки и растительного сырья* [Кандидатская диссертация, Московский государственный университет пищевых производств]. Москва, Российская Федерация.
- Римарева, Л. В., Серба, Е. М., Соколова, Е. Н., Борщева, Ю. А., & Игнатова, Н. И. (2017). Ферментные препараты и биокаталитические процессы в пищевой промышленности *Вопросы питания*, 86(5), 63-74.
- Серба, Е. М., Оверченко, М. Б., Кривова, А. Ю., Игнатова, Н. И., & Римарева, Л. В. (2015). Разработка метода определения содержания полисахаридов в биомассах микроорганизмов. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 7, 31-35.
- Сергеева, И.Ю. (2013). Классификация стабилизирующих средств, используемых в индустрии напитков. *Техника и технология пищевых производств*, 4 (31), 78-86.
- Толкачева, А. А., Черенков, Д. А., Корнеева, О. С., & Пономарев П. Г. (2017). Ферменты промышленного назначения – обзор рынка ферментных препаратов и перспективы его развития. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 79 (4), 197-203.
- Шаламитский, М. Ю. (2014). Исследование эндополигалактуроназной активности разных видов дрожжей. В *Инновации в науке*, 9(34), 35-41.
- Шамцян, М. М., Колесников, Б. А., Клепиков, А. А., & Касьян, О. В. (2011). Биотехнологическая переработка отходов сельского хозяйства и пищевой промышленности. *Российский химический журнал*, 55(1), 17-25.
- Шубаков, А. А. (2013). Регуляция активности пектинэстеразы микромицетов родов *Aspergillus* и *Penicillium*. *Микология и фитопатология*, 47(1), 46-50.
- Abdollahzadeh, R., Pazhang, M., Najavand, S., Fallahzadeh-Mamaghani, V., Amani-Ghadim, & Ali Reza. (2020). Screening of pectinase-producing bacteria from farmlands and optimization of enzyme production from selected strain by RSM. *Folia Microbiologica*. <https://doi.org/10.1007/s12223-020-00776-7>
- Du, Xi, Wang, D., Yin, D., Guan, Y., & Ye, X. (2019) Exogenous Glucose Promotes Growth and Pectinase Activity of *Bacillus licheniformis* DY2 Through Frustrating the TCA Cycle. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 24, 942-953. <https://doi.org/10.1007/s12257-019-0245-9p>
- Fauster, T., Philipp, C., Hanz, K., Scheibelberger, R., Teufl, T., Nauer, S., Scheiblhofer, H., & Jaeger, H. (2020). Impact of a combined pulsed electric field (PEF) and enzymatic mash treatment on yield, fermentation behaviour and composition of white wine. *European Food Research and Technology*, 246, 609–620. <https://doi.org/10.1007/s00217-020-03427-w>
- Gabriela Merin, M., & Ines Morata de Ambrosini, V. (2019) Kinetic and metabolic behaviour of the pectinolytic strain *Aureobasidium pullulans* GM-R-22 during pre-fermentative cold maceration and its effect on red wine quality (2018). *International Journal of Food Microbiology*, 285, 18-26. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.07.003>
- Garg, G., Singh, A., Kaur, A., Singh, R., Kaur, J., & Mahajan, R. (2016). Microbial pectinases: an ecofriendly tool of nature for industries. *Biotechnology*, 6, 47-59. <https://doi.org/10.1007/s13205-016-0371-4>
- Lakhanpal, A., Devi, A., & Gupta, R. (2016). Purification of Pectin Lyase from *Byssoschlamys fulva*: Its Application in Wine Fermentation. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40 (4), 615-623. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12641>
- Mahmoodi, M., Najafpour, G. D., & Mohammadi, M. (2017). Production of pectinases for quality apple juice through fermentation of orange pomace. *Journal of Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2829-8>
- Nikitchina, T.I. (2015). Development of technology of composition pectolytic enzymes of the directed action. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та*

- біотехнологій імені С.З. Гжицького*, 17 (4), 80-86.
- Pereira, Giordana S., Cipriani, M., Wisbeck, E., Souza, O., Strapazzon, Juliana O., Gern, & Regina M. M. (2017). Onion juice waste for production of *Pleurotus sajor-caju* and pectinases. *Food and Bioproducts Processing*, 106, 11-18. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2017.08.006>
- Semenova, M., V., Rozhkova, A. M., Osipov, D. O., Satrutdinov, A. D., Sinitsyna, O. A., Rubtsova, E. A., Kondrateva, E. G., Sinitsyn, A. P. (2019) Selection of the Optimal Enzyme Composition for Sugar Beet Pulp Conversion, 55 (6), 586-593
- Thite, Vihang S., Nerurkar, Anuradha S. (2019) Crude Xylanases and Pectinases from *Bacillus* spp. Along with Commercial Cellulase Formulate an Efficient Tailor-Made Cocktail for Sugarcane Bagasse Saccharification. *Bioenergy Research*. <https://doi.org/10.1007/s12155-019-10050-5>
- Ticona, Alonso R. P., Ullah, Sadia F., Hamann, Pedro R., Lopes, Fabyano A. C., Noronha, Eliane F. (2020). *Paenibacillus barengoltzii* A1_50L2 as a Source of Plant Cell Wall Degrading Enzymes and Its Use on Lignocellulosic Biomass Hydrolysis. *Waste and Biomass Valorization*. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-00975-w>
- Torres-Barajas, L. R., Alvarez-Zuniga, M. T., Mendoza-Hernandez, G., Aguilar-Osorio, G. (2019). Analysis of polysaccharide hydrolases secreted by *Aspergillus flavipes* FP-500 on corn cobs and wheat bran as complex carbon sources. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*. <https://doi.org/10.1080/10826068.2019.1700518>

Improvement of Fruit-Berry Juices Technology using Pectolytic Enzymes

Svetlana N. Butova¹, Ekaterina R. Volnova¹, Yulia V. Nikolaeva¹, Jana Jedličková²

¹ ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

² AJETO, Prague, Czech Republic

Correspondence concerning this article should be addressed to Yulia V. Nikolaeva, Moscow State University of Food Production, 11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation. E-mail: organikamgupp@mail.ru

In the conditions of unfavorable ecological situation, disruption of the nutrition structure of the population, limited raw plant food sources, there is a need for high-quality food products that meet not only domestic but also international requirements. Of particular importance in the nutrition structure are fruit and berry juices and drinks based on them, having high nutritional value. The juice industry has long been looking for a technology that allows extracting as much as possible juice without losing its nutritional and organoleptic properties. This article proposes a way to improve the technology of juice production from apples and blackcurrant using pectolytic enzymes obtained using *Zygodactylon marxianum* BKM Y-848 yeast. In the course of the studies it was found that yeast endopolygalacturonase (activity 3000 units/cm³) in a dosage from 0.004 to 0.01% of the weight of raw materials working within 2-24 hours at temperatures from 10 to 40 °C significantly increases the yield of juice. When adding 0.01% of the enzyme to the mass of skin and seeds' pulp at a temperature of 30 °C and the duration of hydrolysis of 12 hours, the yield of juice increases by 25-30%. Also, the enzyme decreased acidity of juices by 15-45% depending on the type of raw material. The amount of sugars in apple juice increased by 3-5%, in blackcurrant juice the sugar content increased by 12-15% compared to juices obtained from raw materials without enzymatic processing. The key points of the study were the reduction of the juice viscosity, which further significantly increased the filtration rate. Thus, the advisability of usage of enzymes of pectolytic action in the technology of juice products aimed at its improvement it was proved.

Keywords: pectolytic enzymes, apples, blackcurrant, juice, enzymatic hydrolysis, yeast *Zygodactylon marxianum* BKM Y-848

References

- Aver'yanova, E. V., & Grishchenko, O.V. (2015). Complex processing of secondary products of juice production using the example of honeysuckle pulp. In *Fundamental'nye i prikladnye aspekty biotekhnologii* [Fundamental and applied aspects of biotechnology] (p. 98-100).
- Artyuhova, S. I., Krasnikova, YU. V., & Plokhova, I. YU. (2018). Market analysis of industrial enzymes. In *Integraciya nauki i vysshego obrazovaniya v oblasti bio- i organicheskoy himii i biotekhnologii* [Integration of science and higher education in the field of bio- and organic chemistry and biotechnology] (p. 67-68).
- Bannicyna, T. E., Kanarskij, A. V., Shcherbakov, A. V., Chebotar', V. K., & Kiprushkina, E. I. (2016). Yeast in modern biotechnology. *Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda* [Bulletin of the International Academy of Refrigeration], 1, 24-29.
- Guguchkina, T. I., & Ageeva N. M. (2013). Biotechnology is a key link in the development of winemaking. *Nauchnye trudy Gosudarstvennogo nauchnogo uchrezhdeniya Severo-Kavkazskogo zonal'nogo nauchno-issledovatel'skogo instituta sadovodstva i vinogradarstva Rossijskoj akademii sel'skohozyajstvennyh nauk* [Scientific works of the State Scientific Institution of the North Caucasus Zonal Research Institute of Horticulture and Viticulture of the Russian Academy of Agricultural Sciences], 4, 59-62.
- Isrigova, V. S., Isrigova, T. A., Salmanov, M. M., Sajpullaev, A. N., & Kurbanova, A. B. (2018). The use of secondary resources for the production of food of high nutritional and biological value. In *Innovacionnyj podhod v strategii razvitiya apk rossii* [Innovative approach in the development strategy of the agricultural agriculture of russia] (p.94-99).
- Kozhuhov, M. A., Terkun, A. N., & Rozhkov, S. E. (2003). Biotechnological methods in the production of fruit and vegetable juices and nectars. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya* [University News].

How to Cite

Butova, S. N., Volnova, E. R., Nikolaeva, J. V., & Jedličková, J. (2020). Improvement of Fruit-Berry Juices Technology using Pectolytic Enzymes. *Health, Food & Biotechnology*, 2(1). <https://doi.org/10.36107/hfb.2020.i1.s296>

- Food technology], 4, 5-8.
- Krivchenkova, M. V., & Butova, S. N. (2012). Improving the methods for extracting biologically active substances of phenolic nature from plant materials. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya* [University News. Food technology], 4, 56-58.
- Kulishov, B. A., & Tuan, L. A. (2014). The use of solid-phase fermentation technology in the production of organic products. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University], 7 (23), 258-261.
- Lys'ko, K. A. (2007). Razrabotka tekhnologii drozhzhevykh obogatitelej pishchi na baze molochnoj syvorotki i rastitel'nogo syr'ya [Development of technology for yeast food fortifiers based on whey and plant materials]. *Candidate's thesis*. Moskva.
- Rimareva, L. V., Serba, E. M., Sokolova, E. N., Borshcheva, YU. A., & Ignatova, N. I. (2017). Enzyme preparations and biocatalytic processes in the food industry. *Voprosy pitaniya* [Nutrition issues], 86(5), 63-74.
- Serba, E. M., Overchenko, M. B., Krivova, A. YU., Ignatova, N. I., & Rimareva, L. V. (2015). Development of a method for determining the content of polysaccharides in the biomass of microorganisms. *Hranenie i pererabotka sel'hozsyr'ya* [Storage and processing of agricultural raw materials], 7, 31-35.
- Sergeeva, I. YU. (2013). Classification of stabilizing agents used in the beverage industry. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Technique and technology of food production], 4 (31), 78-86.
- Tolkacheva, A. A., Cherenkov, D. A., Korneeva, O. S., & Ponomarev P. G. (2017). Enzymes for industrial use - an overview of the market of enzyme preparations and the prospects for its development. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologij* [Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technology], 79(4), 197-203.
- Shalamitskij, M. YU. (2014). The study of endopolygalacturonase activity of different types of yeast. In *Innovacii v nauke* [Innovation in Science], 9(34). 35-41.
- Shamcyan, M. M., Kolesnikov, B. A., Klepikov, A. A., & Kas'yan, O. V. (2011). Biotechnological processing of agricultural and food waste. *Rossiiskij himicheskij zhurnal* [Russian chemical journal], 55(1), 17-25.
- Shubakov, A. A. (2013). Regulation of pectin esterase activity of micromycetes of the genera *Aspergillus* and *Penicillium*. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and phytopathology], 47(1), 46-50.
- Abdollahzadeh, R., Pazhang, M., Najavand, S., Fallahzadeh-Mamaghani, V., Amani-Ghadim, & Ali Reza. (2020). Screening of pectinase-producing bacteria from farmlands and optimization of enzyme production from selected strain by RSM. *Folia Microbiologica* <https://doi.org/10.1007/s12223-020-00776-7>
- Du, Xi, Wang, D., Yin, D., Guan, Y., & Ye, X. (2019) Exogenous Glucose Promotes Growth and Pectinase Activity of *Bacillus licheniformis* DY2 Through Frustrating the TCA Cycle. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 24, 942-953. <https://doi.org/10.1007/s12257-019-0245-9p>
- Fauster, T., Philipp, C., Hanz, K., Scheibelberger, R., Teufl, T., Nauer, S., Scheibelhofer, H., & Jaeger, H. (2020). Impact of a combined pulsed electric field (PEF) and enzymatic mash treatment on yield, fermentation behaviour and composition of white wine. *European Food Research and Technology*, 246, 609-620. <https://doi.org/10.1007/s00217-020-03427-w>
- Gabriela Merin, M., & Ines Morata de Ambrosini, V. (2019) Kinetic and metabolic behaviour of the pectinolytic strain *Aureobasidium pullulans* GM-R-22 during pre-fermentative cold maceration and its effect on red wine quality (2018). *International Journal of Food Microbiology*, 285, 18-26. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2018.07.003>
- Garg, G., Singh, A., Kaur, A., Singh, R., Kaur, J., & Mahajan, R. (2016). Microbial pectinases: an ecofriendly tool of nature for industries. *Biotechnology*, 6, 47-59. <https://doi.org/10.1007/s13205-016-0371-4>
- Lakhanpal, A., Devi, A., & Gupta, R. (2016). Purification of Pectin Lyase from *Byssoschlamys fulva*: Its Application in Wine Fermentation. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40 (4), 615-623. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12641>
- Mahmoodi, M., Najafpour, G. D., & Mohammadi, M. (2017). Production of pectinases for quality apple juice through fermentation of orange pomace. *Journal of Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2829-8>
- Nikitchina, T.I. (2015). Development of technology of composition pectolytic enzymes of the directed action. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*, 17 (4), 80-86.
- Pereira, Giordana S., Cipriani, M., Wisbeck, E., Souza, O., Strapazzon, Juliana O., Gern, & Regina M. M. (2017). Onion juice waste for production of *Pleurotus sajor-caju* and pectinases. *Food and Bioprocess Processing*, 106, 11-18. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2017.08.006>
- Semenova, M., V., Rozhkova, A. M., Osipov, D. O., Satrutdinov, A. D., Sinitsyna, O. A., Rubtsova, E. A., Kondrateva, E. G., Sinitsyn, A. P. (2019) Selection of the Optimal Enzyme Composition for Sugar Beet Pulp Conversion, 55 (6), 586-593

- Thite, Vihang S., Nerurkar, Anuradha S. (2019) Crude Xylanases and Pectinases from *Bacillus* spp. Along with Commercial Cellulase Formulate an Efficient Tailor-Made Cocktail for Sugarcane Bagasse Saccharification. *Bioenergy Research*. <https://doi.org/10.1007/s12155-019-10050-5>
- Ticona, Alonso R. P., Ullah, Sadia F., Hamann, Pedro R., Lopes, Fabyano A. C., Noronha, Eliane F. (2020). *Paenibacillus barengoltzii* A1_50L2 as a Source of Plant Cell Wall Degrading Enzymes and Its Use on Lignocellulosic Biomass Hydrolysis. *Waste and Biomass Valorization*. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-00975-w>
- Torres-Barajas, L. R., Alvarez-Zuniga, M. T., Mendoza-Hernandez, G., Aguilar-Osorio, G. (2019). Analysis of polysaccharide hydrolases secreted by *Aspergillus flavipes* FP-500 on corn cobs and wheat bran as complex carbon sources. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*. <https://doi.org/10.1080/10826068.2019.1700518>

Определение рациональных параметров акустической обработки с целью активации пивных дрожжей

Карпенко Дмитрий Валерьевич

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Корреспонденция, касающаяся этой статьи, должна быть адресована Карпенко Д.В., ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», адрес: 125080, город Москва, Волоколамское шоссе, дом 11. E-mail: doka.65@mail.ru

В бродильных производствах, в том числе, в пивоварении актуальными являются задачи повышения бродильной активности дрожжей и/или интенсификация накопления их биомассы. Для их решения в настоящее время предлагаются различные способы, одним из которых может быть предварительная обработка волновыми или полевыми воздействиями. Ранее в наших исследованиях была показана принципиальная возможность интенсификации развития дрожжевых популяций за счет предварительной обработки звуком слышимого диапазона. Данная статья посвящена изучению влияния параметров акустической обработки на характеристики процесса культивирования дрожжей: прирост общего титра клеток, доля нежизнеспособных клеток, убыль веса среды культивирования. Определяли эффективность обработки засевных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* (Saflager W34/70) звуком слышимого диапазона, варьируя параметры акустического воздействия: частоту звука, продолжительность обработки, амплитуду, расстояние от источника звука до обрабатываемого объекта (навески сухих дрожжей). Обработанными и необработанными звуком дрожжами засевали модельные среды (стерилизованные 5%-ные растворы сахарозы) и вели культивирование при температуре 21-26°C без принудительного перемешивания в течение 4 сут. Сразу после засева и ежедневно в процессе культивирования определяли контролируемые показатели. Рациональными параметрами предварительной акустической обработки засевных дрожжей были признаны: частота звука 2765 Гц, продолжительность 30 мин, амплитуда 100% при мощности 2 Вт, расстояние между источником звука и навеской дрожжей 5 см. В условиях экспериментов в опытных вариантах убыль веса питательной среды была в 1,5-2,3 раза больше, а процент нежизнеспособных клеток на 5-30% меньше по сравнению с контролем. Общий титр клеток в опытных образцах был равен контрольному или на 5-10% ниже. На основании полученных результатов был сделан вывод о том, что предварительная акустическая обработка, проведенная в рациональных условиях, позволяет интенсифицировать утилизацию компонентов питательной среды клетками популяции пивных дрожжей. Это создало предпосылки для апробации предлагаемого способа активации пивных дрожжей в условиях, приближенных к производственным.

Ключевые слова: пивные дрожжи, звук слышимого диапазона, акустическая обработка, общий титр клеток дрожжей, утилизация сухих веществ, доля нежизнеспособных клеток

Введение

Роль производственных (культурных) дрожжей во многих пищевых технологиях является определяющей. Так, в бродильных производствах от активности дрожжевой популяции зависит скорость сбраживания сусла, и, следовательно, продолжительность этого процесса и экономика предприятия в целом. Более того, в некоторых отраслях, включая виноделие и пивоварение, дрожжи накапливают метаболиты, принимающие активное

участие в формировании органолептических характеристик готового напитка, причем разные группы продуктов жизнедеятельности оказывают противоположно направленное воздействие. В силу этого технолог бродильного, в том числе, пивоваренного производства выбирает и контролирует в процессе применения целый ряд характеристик производственных дрожжей. Одними из наиболее важных являются увеличение общего титра клеток, скорость и глубина сбраживания. Поэтому перспективными могут быть мето-

ды, базирующиеся на различных принципах, но обеспечивающие эффективное улучшение этих характеристик.

Важными условиями при выборе метода активации развития дрожжевых популяций в пищевых, в частности, бродильных производствах являются:

- сравнительно невысокие затраты;
- отсутствие необходимости существенного аппаратного переоснащения предприятия;
- минимизация негативных воздействий обработки на оборудование и персонал;
- незначительные изменения химического состава технологических сред и готовой продукции, обеспечивающие сохранение органолептических, физико-химических характеристик готовой продукции, показателей ее безопасности на уровне не ниже контрольных;
- технологическая и экономическая эффективность обработки.

Все это делает необходимым не только выбор адекватного принципа, на котором базируется метод активации развития дрожжевых популяций, но и установление рациональных параметров проведения обработки.

Литературный обзор

В литературных источниках рассматривается чрезвычайно широкий спектр подходов к решению задачи активации жизнедеятельности объектов различной биологической природы. Однако, некоторые из них не могут быть применены к дрожжам бродильного (пивоваренного) производства ввиду высокой стоимости, недостаточной технологичности или значимого изменения, в конечном итоге, химического состава готового пищевого продукта. Тем не менее, разработаны, а в ряде случаев и реализуются в производственной практике несколько способов активации спиртообразующих дрожжей или интенсификации технологических стадий, на которых они применяются. В качестве примеров могут быть приведены следующие:

- максимально возможное приближение параметров культивирования популяции к значениям, оптимальным для конкретной дрожжевой культуры (Heard & Fleet, 1988; Jenkins, Kennedy, Hodgson, Thurston, & Smart, 2003; Kopecka et al., 2015; Noé Arroyo-López, Orlić, Querol, & Barrio, 2009; Somani, Bealin-Kelly, Axcell, & Smart, 2013);
- минимизация, когда это возможно, стрессовых факторов (Bleowanca & Bahrim, 2013; Bryant, 2019; Powell, Quain, & Smart, 2003; Smart, 2017;

Zhuang, Smart, & Powell, 2017), что тесно связано с предыдущим подходом;

- введение в среду культивирования тех или иных компонентов, стимулирующих развитие популяции (Anghel, 2019; Кошова, Яжло, Каплуненко, & Огородник, 2015), в частности, витаминов группы В и минерального азота (Vukosavljević, Pajovic-Scepanovic, Matijašević, & Maletić, 2016), цинка (De Nicola & Walker, 2009; De Nicola & Walker, 2011);
- проведение селекции (Libkind et al., 2011; Michel et al., 2015), гибридизации (Gibson et al., 2017; Krogerus, Magalhães, Vidgren, & Gibson, 2017) или генетических модификаций (Alexander et al., 2016; Gorter de Vries, Pronk, & Daran, 2019; Hinchliffe, 1989; Karabín, Jelínek, Kotrba, Cejnar, & Dostálek, 2017), мутагенеза (Liu, Zhang, & Sun, 2008; Liu, 2018; Selecky, Smogrovicova, & Šulak, 2005) и последующее использование дрожжей с улучшенными свойствами;
- подбор новых родов и видов дрожжей, не принадлежащих к роду *Saccharomyces* (Iattici, Catallo, & Solieri, 2020);
- фотоактивация, в том числе, с помощью ближнего ультрафиолетового (337 нм) излучения (Belenikina, Strakhovskaya, & GYa, 1991);
- обработка ультразвуком при определенных параметрах (Бодрова & Кречетникова, 2007), в том числе, импульсная (Muthu et al., 2018); во многих случаях эффект такого воздействия объясняется в литературных источниках кавитационными явлениями и локальным прогревом обрабатываемой среды (Cheeke & David, 2002).

Анализ научной литературы позволил заключить, что каждый из этих подходов обладает как достоинствами, так и недостатками. Это сделало целесообразным изучение альтернативных возможностей решения задачи интенсификации развития популяций дрожжей рода *Saccharomyces*, используемых в пивоваренном производстве.

В ФГБОУ ВО «МГУПП» на протяжении ряда лет проводятся исследования эффективности такого технологического приема, как обработка объектов различных уровней организации звуком слышимого диапазона с определенной фиксированной частотой. Была установлена возможность повышения за счет такой обработки интенсивности процессов экстракции технологически ценных компонентов сырья пивоваренного и безалкогольного производств (светлого ячменного солода (Карпенко & Беркетова, 2012), хмеля, мяты перечной), активности гидролаз различной специфич-

ности (Карпенко, Тихонова, Ходарев, Овчинников, & Безгубов, 2015), а также интенсивности развития популяции пивных дрожжей рода *Saccharomyces* (Karpenko et al., 2019). В рамках проведенных нами ранее исследований предварительную акустическую обработку засевных дрожжей проводили в следующих условиях: частота 3070 Гц, продолжительность 60 мин, мощность источника звука 2 Вт, амплитуда 100 %, синусоидная форма сигнала, расстоянии от источника звука до обрабатываемого объекта 10 см. Это обеспечило в условиях эксперимента (с применением модельных питательных сред) улучшение технологически важных показателей развития популяции пивных дрожжей: прироста титра жизнеспособных клеток в процессе культивирования, доли утилизированных сухих веществ питательной среды, снижения процента нежизнеспособных клеток. В то же время, имеющиеся экспериментальные данные, а также литературная информация позволили предположить, что установление рациональных параметров предварительной обработки, в данном случае акустической, позволит достичь еще большего положительного эффекта воздействия такого типа. Для этого был проведен следующий этап работы, результаты которого представлены в данной статье.

Теоретическое обоснование

Воздействие ультразвука на биологические объекты, как было отмечено выше, обычно объясняется возникновением явлений кавитации и областей локального нагрева в обрабатываемом материале. Предположить такой же механизм низкоэнергетического воздействия звука слышимого диапазона затруднительно. Однако и звуковые колебания приносят в живую систему, в частности, микробную клетку, определенное количество энергии. Кроме того, определенную роль может играть и резонанс, возбуждаемый акустическими колебаниями. Механизм такого воздействия должен быть исследован дополнительно, однако, возможно, он базируется, хотя бы отчасти, на изменении конформации молекул белков, в том числе, обладающих каталитической активностью. При этом положительные изменения характеристик обрабатываемого объекта имеют место только тогда, когда количество введенной энергии оптимально. При избытке введенной энергии характеристики объекта могут ухудшаться, а при недостатке обработка будет неэффективной. Ранее (Karpenko et al., 2019) была показана принципиальная воз-

можность изменения показателей развития популяций спиртообразующих дрожжей за счет их предварительной обработки звуком слышимого диапазона, причем направление этих изменений (в положительную или отрицательную сторону) зависело от частоты акустических колебаний. Целью обсуждаемого в статье этапа работ являлось установление параметров акустической обработки засевных дрожжей, обеспечивающих, по меньшей мере, технологический эффект. Следует отметить также, что предварительной акустической обработке подвергали негидратированные, сухие дрожжи, чего никогда не делается в производственном масштабе. Это решение было продиктовано следующим соображением: гидратация, тем более разбавление дрожжей приводили бы к увеличению различий в состоянии дрожжевых клеток перед акустической обработкой/засевом суслу в разных экспериментах, что вводило бы дополнительный трудно учитываемый фактор, влияющий на результаты определения показателей, по которым судили об интенсивности развития популяций дрожжей, и затрудняло сопоставление их результатов и формулирование выводов на основании проведенных исследований.

Исследование

Материалы и методы исследования

Пивные дрожжи W-34/70 (Saflager, Fermentis (Франция)) обеспечивают получение хорошо сбалансированного пива с фруктовым и цветочным ароматом. Широко используются на современных пивоваренных предприятиях различной мощности. Обладают следующими характеристиками:¹

- Сухие вещества (СВ), %: 94,0 – 96,5;
- Кол-во живых клеток при упаковке: $> 6 \cdot 10^9/\text{г}$;

Акустическую обработку проводили с использованием колонки для персонального компьютера мощностью 2 Вт.

Частоту звука, используемого для обработки засевных дрожжей, устанавливали с помощью компьютерной программы "Generator".

Содержание сухих веществ определяли пикнометрическим методом.

Общий титр дрожжевых клеток определяли подсчетом в камере Горяева.

¹ Сафлагер W-34/70 Сухие дрожжи низового брожения [Saflager W-34/70 Dry yeast of bottom fermentation]. Retrieved from http://www.fptl.ru/biblioteka/pivo/saflager_w34-70.pdf (in Russian)

Интенсивность утилизации компонентов питательной среды оценивали, ежедневно измеряя убыль веса среды культивирования.

Долю нежизнеспособных клеток определяли прямым микроскопированием после окраски метиленовым синим.

Условия культивирования дрожжевых популяций: продолжительность 4 сут, температура 21-26 °С. В качестве питательной среды использовали 5%-ный раствор сахарозы в водопроводной воде, который перед засевом стерилизовали трехкратным кипячением в течение 60 мин. Объемы питательных сред в контрольных и опытных вариантах - 100 см³. Навески сухих дрожжей, использованных для засева, равнялись 45 мг. Культивирование вели в конических колбах емкостью 250 см³ без принудительного перемешивания, за исключением суспендирования содержимого колбы 1 раз в сутки непосредственно перед отбором проб для измерения контролируемых показателей.

Все измерения проводили в трех повторностях, в таблицах приведены средние значения измеряемых показателей.

Результаты

Нам представлялось целесообразным в первую очередь установить значение частоты звука, обеспечивающее наилучшие результаты, ввиду того, что ранее было установлено, что звук разных частот может оказывать выраженное как отрицательное, так и положительное влияние на контролируемые показатели. В качестве «стартовой точки» была выбрана частота, при которой на предыдущем этапе исследований (Karpenko et al., 2019) была зафиксирована наибольшая интенсификация развития популяции пивных дрожжей, а

именно, 3070 Гц. Следует отметить, что используемая нами программа для ПК «Generator», позволяла генерировать звук определенных частот только с дискретными, а не произвольно установленными значениями. В силу этого, уточнение влияния частоты звука на результаты обработки засеваемых дрожжей проводили при значениях, указанных в табл. 1. Остальные параметры предварительного акустического воздействия на дрожжи опытных вариантов перед засевом - продолжительность акустического воздействия 60 мин, амплитуда 100%, мощности источника звука 2 Вт, расстояние от источника до обрабатываемого объекта 15 см. Условия культивирования приведены в разделе «Материалы и методы исследований». Отметим, что в данном эксперименте контрольный вариант (с использованием дрожжей, не подвергнутых акустической обработке) не ставили ввиду большого количества опытных вариантов. Положительное влияние акустической обработки было доказано на предыдущем этапе исследований, целью обсуждаемого эксперимента являлось выявление наиболее целесообразной частоты звука. Полученные результаты представлены в табл. 1.

После подтверждения сделанного ранее вывода о значимости такого параметра акустической обработки, как частота звука, мы сочли целесообразным уточнить значение рациональной частоты звука, обработка которым дает наилучшие результаты. С этой целью был проведен эксперимент, в котором диапазон используемых частот был сужен. Таким образом, в условиях, аналогичных предыдущим, проводили обработку образцов сухих дрожжей при частотах, указанных в табл. 2.

Дальнейшее сужение диапазона исследуемых частот было признано нецелесообразным, и в описанных ниже экспериментах обработку проводили при частоте звука 2765 Гц, варьируя другие параметры предварительной акустической обработки.

Таблица 1

Влияние обработки навески сухих дрожжей звуком (2460 - 3528 Гц) на показатели культуральной жидкости после 4 сут культивирования

Показатель	Длина волны, Гц				
	2460	2765	3070	3223	3528
Нежизнеспособные клетки, %	23,1	22,6	23,0	22,0	23,4
Клетки ¹⁾ , млн/см ³	52,5	57,5	57,5	55,0	52,0
СВ, % масс.	4,54	4,55	4,64	4,59	4,61
Убыль веса, % от исходного	3,74	3,81	2,11	1,63	3,42

*Примечание.*¹⁾ Общий титр дрожжевых клеток, здесь и в следующих таблицах

Таблица 2

Влияние обработки навески сухих дрожжей звуком (2150 - 3070 Гц) на показатели культуральной жидкости после 4 сут культивирования

Показатель	Длина волны, Гц				
	2150	2380	2460	2765	3070
Нежизнеспособные клетки, %	23,1	22,6	23,0	22,0	23,4
Клеток, млн/см ³	52,5	57,5	52,0	57,5	57,5
СВ, % масс.	4,64	4,64	4,43	4,42	4,43
Убыль веса, % от исходного	4,73	2,11	6,54	8,32	6,54

Следующим из них являлась продолжительность воздействия звуком слышимого диапазона. В исследованиях, проведенных ранее, и на основе анализа литературных источников установлено, что продолжительность обработки волновыми/полевыми воздействиями влияет как на ее технологическую эффективность, так и на набор мероприятий по реорганизации традиционного технологического процесса, определяет производственные затраты.

Для оценки влияния продолжительности акустического воздействия была реализована следующая серия экспериментов. Обработку сухих пивоваренных дрожжей проводили в звукоизолированной ячейке в течение 5, 20, 40 и 60 мин при комнатной температуре и частоте звука 2765 Гц. За исключением продолжительности обработки остальные ее параметры были такими же, как указано ранее. Контрольный вариант формировали, используя навеску дрожжей той же партии, которую выдерживали при комнатной температуре в соседнем помещении так, чтобы она не подвергалась воздействию звука.

После акустической обработки различной продолжительности в опытных вариантах производили засев дрожжами питательных сред. Культивирование вели в течение 4 сут, по ходу процесса и по его окончании определяя показатели, значения которых приведены в табл. 3.

Для более точного установления рациональной продолжительности акустической обработки дрожжей на ее эффективность был проведен дополнительный эксперимент, «центром» которого выбрали 40 мин, то есть значение, при котором ранее были получены наибольшие величины контролируемых показателей, шаг варьирования был уменьшен до 10 мин. Остальные условия проведения эксперимента были аналогичны предыдущим. Полученные результаты представлены в табл. 4.

Мы сочли целесообразным провести еще один эксперимент данной серии для подтверждения того, что именно 30-минутная обработка звуком дает наилучшие результаты. В этом эксперименте «шаг» варьирования продолжительности обработки был уменьшен и равнялся 5 минутам.

Условия проведения эксперимента были аналогичны предыдущим. Результаты приведены в табл. 5.

В ранее проведенных исследованиях установлено, что одним из значимых факторов, определяющих эффективность волновых воздействий на обрабатываемый объект, является их амплитуда (иначе говоря, мощность). Применительно к обработке пивных дрожжей этот вопрос ранее не исследовался, поэтому в нашей работе было решено оценить влияние упомянутого параметра на результаты обработки сухих пивных дрожжей.

Для этого проводили обработку сухих пивных дрожжей в течение 30 мин звуком частотой 2765 Гц в условиях, аналогичных описанным выше. Исключением являлись величины амплитуды акустических колебаний. Они составляли 0, 25, 50, 75 или 100 % от максимального значения, которое использовали во всех предыдущих экспериментах. Контрольным образцом являлась навеска из той же партии дрожжей, которую не подвергали целенаправленному воздействию звука. По окончании обработки дрожжами каждого варианта засеивали 5 %-ный раствор сахарозы и определяли показатели, значения которых представлены в табл. 6.

Известно, что звуковые колебания затухают по мере удаления от источника звука, причем скорость такого затухания зависит от ряда факторов, в частности, от свойств среды, в которой он распространяется.

Для того чтобы, с одной стороны, изучить зависимость изменения характеристик обрабатыва-

Таблица 3

Влияние продолжительности (5-60 мин) обработки дрожжей звуком (2765 Гц) на показатели культуральной жидкости после 4 сут культивирования

Показатель	Продолжительность обработки, мин				
	5	20	40	60	Без обработки
Нежизнеспособные клетки, %	29,80	34,30	32,20	34,10	46,80
Клеток, млн/см ³	62,50	68,30	60,00	68,00	62,00
СВ, % масс.	4,40	4,27	4,23	4,23	4,18
Убыль веса, % от исходного	6,00	3,69	8,11	5,80	3,50

Таблица 4

Влияние продолжительности (30 – 50 мин) обработки дрожжей звуком (2765 Гц) на показатели культуральной жидкости после 4 сут культивирования

Показатель	Продолжительность обработки, мин			
	30	40	50	Без обработки
Нежизнеспособные клетки, %	32,5	29,4	35,1	37,8
Клетки, млн/см ³	62,5	55,0	57,5	62,5
СВ, % масс.	4,51	4,56	4,72	4,72
Убыль веса, % от исходного	4,77	3,32	3,07	2,07

Таблица 5

Влияние продолжительности (25 – 35 мин) обработки дрожжей звуком (2765 Гц) на показатели культуральной жидкости

Показатель	Продолжительность обработки, мин			
	25	30	35	Без обработки
Нежизнеспособные клетки, %	34,5	33,6	31,6	35,3
Клетки, млн/см ³	52,5	57,5	52,0	57,5
СВ, % масс.	4,40	4,33	4,45	4,40
Убыль веса, % от исходного	3,47	4,42	3,57	2,87

Таблица 6

Влияние амплитуды звука (2765 Гц), использованного для обработки дрожжей в течение 30 минут, на показатели культуральной жидкости

Показатель	Амплитуда, %					
	0	25	50	75	100	Без обработки
Нежизнеспособные клетки, %	27,6	23,3	23,5	24,3	24,2	29,9
Клетки, млн/см³	55,0	57,5	57,5	55,0	52,0	55,0
СВ, % масс.	4,76	4,69	4,73	4,71	4,69	4,74
Убыль веса, % от исходного	2,06	2,90	3,07	3,28	3,90	1,86

емых пивоваренных дрожжей от их удаленности от источника звука, а с другой стороны, оценить возможность проведения такой обработки в промышленных условиях, был проведен следующий эксперимент.

Навески сухих дрожжей размещали на картонном лотке квадратного сечения, условно разделенном на секции шириной 1 см так, чтобы через каждые

5 см располагалась одна навеска дрожжей, равная 0,045г. Таким образом, получили 6 образцов, которые в процессе предварительной акустической обработки располагались от источника звука на расстоянии 0, 5, 10, 15, 20, 25 см. Источник звука (акустическую колонку) устанавливали вплотную к одному из торцов этого лотка. Обработку проводили в течение 30 минут при 2765 Гц и амплитуде, равной 100%.

После проведения акустической обработки сухими дрожжами каждого варианта засеивали равные объемы 5%-ного раствора сахарозы, формируя опытные образцы. Контрольный получали, внося в та-

кую же питательную среду навеску дрожжей, не подвергавшуюся воздействию звука. Результаты определения показателей культуральной жидкости приведены в табл. 7.

Таблица 7

Влияние удаленности навески дрожжей от источника звуковых колебаний (2765 Гц) на показатели культуральной жидкости

Показатель	Расстояние от источника звука, см						Без обработки
	0	5	10	15	20	25	
Нежизнеспособные клетки, %	23,5	22,3	23,5	23,2	22,6	22,3	23,5
Клетки, млн/см ³	55,0	52,0	52,5	47,5	52,0	57,5	57,5
СВ, % масс.	4,16	4,07	4,13	4,14	4,15	4,18	4,20
Убыль веса, % от исходного	3,26	4,65	3,95	3,72	3,02	2,56	2,80

Обсуждение полученных результатов

На основании данных таблицы 1 можно заключить, что наибольшее снижение содержания сухих веществ в модельной питательной среде достигнуто в результате обработки акустическими колебаниями частотой 2765 Гц. Так, убыль веса в этом варианте была в 2,3 раза больше, чем при обработке звуком с частотой 3223 Гц, продемонстрировавшей в условиях эксперимента наименьшую эффективность. Обработка при этой частоте также обеспечила наибольший прирост титра дрожжей, превосходивший значения в большинстве других вариантов на 5 - 10 %. По доле нежизнеспособных клеток этот вариант незначительно (2,7 %) уступал только одному, в котором предварительную акустическую обработку проводили при частоте 3223 Гц.

Сделанный вывод подтверждается данными дополнительного эксперимента (табл. 2), в котором наибольшее (в 1,3 - 4 раза) снижение содержания сухих веществ в модельной питательной среде в результате воздействия звуковыми колебаниями на дрожжи также было достигнуто при 2765 Гц. Значения остальных контролируемых показателей были близкими к таковым в остальных вариантах или лучше их.

Выявлено, что продолжительность звукового воздействия является значимым фактором, обуславливающим эффективность обсуждаемого технологического приема. Из таблицы 3 видно, что наилучшей с точки зрения убыли сухих веществ в условиях эксперимента следует признать обработку в течение 40 минут - значение этого показателя составило более 8,11 % - в 2,5 раза больше, чем в контроле. При 40-минутной продолжительности обработки наблюдалась и меньшая - на 30 % - по

сравнению с контролем доля нежизнеспособных клеток.

Уточнение значения рациональной продолжительности предварительной акустической обработки позволило заключить (табл. 4), что максимальное снижение количества сухих веществ в модельной питательной среде обеспечила в условиях эксперимента обработка в течение 30 минут. В этом варианте предварительное акустическое воздействие обусловило увеличение убыли веса на 130 %, снижение доли нежизнеспособных клеток на 14 % по сравнению с контролем; общий титр клеток равен контрольному.

Этот вывод подтверждается и данными таблицы 5, полученными при сужении диапазона продолжительности обработки. Видно, что лучшие результаты (убыль веса 154 %, доля нежизнеспособных клеток 95 % по отношению к контролю) обеспечила обработка сухих дрожжей именно в течение 30 минут; при этом наименьшая доля нежизнеспособных клеток - 90 % по сравнению с контролем - зафиксирована в опытном варианте с использованием дрожжей, перед посевом обработанных звуком в течение 35 минут. Тем не менее, по совокупности всех проанализированных показателей было решено, что именно 30-минутная обработка является наиболее эффективной с точки зрения улучшения пивоваренных характеристик дрожжей. Все следующие эксперименты проводили, используя акустическую обработку именно такой продолжительности.

Изучение влияния амплитуды акустических колебаний дало результаты (табл. 6), на основании которых нами был сделан ряд выводов:

1. влияние значения амплитуды звуковых колебаний на характер утилизации питательных

веществ модельной среды имело закономерный характер: при амплитуде, равной 0 (что фактически означает отсутствие звука) величины убыли веса в модельной питательной среде опытного и контрольного вариантов были близкими - 2,06 % и 1,86 %, соответственно. По мере увеличения значения варьируемого фактора убыль содержания сухих веществ в модельной питательной среде возрастала - вплоть до 210 % к контролю при 100 %.

2. влияние значения амплитуды звуковых колебаний на другие показатели культуральной жидкости, определявшиеся в ходе эксперимента, ни имело линейного характера, однако в большинстве случаев их значения были лучше, чем в контрольном варианте;
3. наибольшее снижение содержания сухих веществ в модельной питательной среде обеспечила амплитуда звуковых колебаний, равная 100 % от максимально возможной на использованном оборудовании. Именно при максимальной амплитуде проводили последующие эксперименты;
4. данные обсуждаемого эксперимента позволили предположить, что использование устройства, генерирующего звук (акустической колонки) большей мощности позволит повысить эффективность звуковой обработки пивных дрожжей с целью улучшения их пивоваренных характеристик - степени сбраживания сахаров и физиологического состояния клеток.

Проведенные исследования показали, что результативность акустической обработки значимо зависит и от расстояния между источником звука и обрабатываемым объектом. Из представленных в таблице 7 данных видно, что по мере увеличения расстояния между обрабатываемыми дрожжей и акустической колонкой убыль количества сухих веществ в модельной питательной среде ожидаемо снижается, что свидетельствует о поглощении звуковых волн клетками дрожжей, рассеянии их в пространстве и уменьшении амплитуды звуковых колебаний по мере удаления от их источника.

В целом, наиболее рациональным было признано расстояние от колонки до обрабатываемых дрожжей равное 5 см: в этом варианте зафиксирована наиболее интенсивная утилизация питательных веществ (наибольшая убыль веса - 166 % к контролю), а также определенное - на 5 % по сравнению с контролем - снижение доли нежизнеспособных клеток.

Заключение

На основании всего приведенного массива экспериментальных данных, по нашему мнению, можно сделать вывод о том, что изменение параметров акустической обработки существенно влияет на ее эффективность. Проведенные исследования позволили установить рациональные параметры обработки: значение частоты звука слышимого диапазона (2765 Гц), продолжительности акустического воздействия (30 мин), амплитуды (100 % при мощности источника 2 Вт) и расстояния от источника до обрабатываемого объекта (5 см). Предварительная акустическая обработка сухих засевных дрожжей, проведенная в таких условиях, позволила при развитии дрожжевой популяции в модельной питательной среде повысить степень утилизации сухих веществ (увеличение убыли веса питательной среды до 2,3 раз) по сравнению с контролем, снизить долю нежизнеспособных клеток на 5 % и более, сохранив общий титр дрожжевых клеток на уровне контроля или незначительно ниже. Это создало предпосылки для апробации разрабатываемого способа активации пивных дрожжей в условиях, приближенных к производственным, то есть, в пивном сусле с концентрацией сухих веществ более 10 %, при температурах, характерных для низового брожения (менее 10 °C), в течение 5-7 суток.

Литература

- Бодрова, О. Ю., & Кречетникова, А. Н. (2007). Ультразвуковая обработка засевных дрожжей в технологии спирта. *Производство спирта и ликероводочных изделий*, 3, 26-29.
- Карпенко, Д. В., & Беркетова, М. А. (2012). Изучение влияния акустических колебаний на качество пивоваренного ячменного солода. *Пиво и напитки: безалкогольные, алкогольные, соки, вино*, 5, 14-16.
- Карпенко, Д. В., Тихонова, Т. А., Ходарев, К. К., Овчинников, Ю. Б., & Безгубов, В. В. (2015). Способ активации амилолитического ферментного препарата. *Пиво и напитки: безалкогольные, алкогольные, соки, вино*, 4, 42-44.
- Кошова, В., Ябло, В., Каплуненко, В., & Огородник, Ю. (2015). Increase of fermentative activity of brewing yeast using zinc nanoaquachelate. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4, 10 (76), 40-44. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.47888>.

- Alexander, W. G., Peris, D., Pfannenstiel, B. T., Opulente, D. A., Kuang, M., & Hittinger, C. T. (2016). Efficient engineering of marker-free synthetic allotetraploids of *Saccharomyces*. *Fungal genetics and biology*, 89, 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.fgb.2015.11.002>
- Anghel, N. (2019). Spruce bark polyphenols as metabolic booster for yeast development. *Cellulose Chemistry and Technology*, 53 (9-10), 925-928. <https://doi.org/10.35812/CelluloseChemTechnol.2019.53.89>
- Belenikina, N., Strakhovskaya, M., & GYa, F. (1991). Near-UV activation of yeast growth. *Journal of photochemistry and photobiology B: Biology*, 10 (1-2), 51-55. [https://doi.org/10.1016/1011-1344\(91\)80211-Y](https://doi.org/10.1016/1011-1344(91)80211-Y)
- Bleoanca, I., & Bahrim, G. E. (2013). Overview on Brewing Yeast Stress Factors. *Romanian Biotechnological Letters*, 18 (5), 8559-8572.
- Bryant, N. (2019). *The effect of alcohol and bitterness levels on brewing yeast viability*. Master's Theses. California Polytechnic State University, San Luis Obispo. Retrieved from <https://digitalcommons.calpoly.edu/theses/1995>
- Cheeke, J., & David, N. (2002). *Fundamentals and Applications of Ultrasonic Waves*. Boca Raton, Fla., USA: CRC Press, 462 p.
- De Nicola, R., & Walker, G. M. (2009). Accumulation and cellular distribution of zinc by brewing yeast. *Enzyme and Microbial Technology*, 44 (4), 210-216. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2008.11.008>
- De Nicola, R., & Walker, G. M. (2011) Zinc Interactions with Brewing Yeast: Impact on Fermentation Performance. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 69 (4), 214-219. <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2011-0909-01>
- Gibson, B., Geertman, J.-M., Hittinger, C., Krogerus, K., Libkind, D., Louis, E., Magalhães, F., & Sampaio, J. (2017). New yeasts-new brews: Modern approaches to brewing yeast design and development. *FEMS Yeast Research*, 17 (4), fox038. <https://doi.org/10.1093/femsyr/fox038>
- Gorter de Vries, A. R., Pronk, J. N., & Daran, J.-M. (2019). Lager brewing yeasts in the era of modern genetics. *FEMS Yeast Research*, 19 (7). <https://doi.org/10.1093/femsyr/foz063>
- Heard, G. M., & Fleet, G. H. (1988). The effects of temperature and pH on the growth of yeast species during the fermentation of grape juice. *Journal of Applied Bacteriology*. 65 (1). 23-28. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1988.tb04312.x>
- Hinchliffe, E. (1989). The genetic improvement of brewing yeast. *Biochemical Society transactions*, 16 (6), 1077-1079. <https://doi.org/10.1042/bst0161077>
- Iattici, F., Catallo, M., & Solieri, L. (2020). Designing New Yeasts for Craft Brewing: When Natural Biodiversity Meets Biotechnology. *Beverages*. 6 (1), 3-23. <https://doi.org/10.3390/beverages6010003>
- Jenkins, C. L., Kennedy, A. I., Hodgson, J. A., Thurston, P., & Smart, K. (2003). Impact of serial repitching on lager brewing yeast quality. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 61 (1), 1-9. <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-61-0001>
- Karabín, M., Jelínek, L., Kotrba, P., Cejnar, R., & Dostálek, P. (2017). Enhancing the performance of brewing yeasts. *Biotechnology Advances*, 36 (3), 691-706. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2017.12.014>
- Karpenko, D. V., Gernet, M. V., Krjukova, E. V., Gribkova, I. N., Nurmukhanbetova, D. E., & Assembayeva, E. K. (2019). Acoustic vibration effect on genus *Saccharomyces* yeast population development. *News of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences*, 4 (436), 103-112. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.103>
- Kopecka, J., Němec, M., Matoulková, D., Čejka, P., Jelinkova, M., Felsberg, J., & Sigler, K. (2015). Effect of Growth Conditions on Flocculation and Cell Surface Hydrophobicity of Brewing Yeast. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 73 (2), 143-150. <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2015-0324-01>
- Krogerus, K., Magalhães, F., Vidgren, V., & Gibson, B. R. (2017). Novel brewing yeast hybrids: creation and application. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 101 (1), 65-78. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-8007-5>
- Libkind, D., Hittinger, C., Valério, E., Gonçalves, C., Dover, J., Johnston, M., Gonçalves, P., & Sampaio, J. (2011). Microbe domestication and the identification of the wild genetic stock of lager-brewing yeast. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108 (35), 14539-14544. <https://doi.org/10.1073/pnas.1105430108>
- Liu, C., Li, Q., Niu, C., Tian, Y., Zhao, Y., & Yin, X. (2018). The use of atmospheric and room temperature plasma mutagenesis to create a brewing yeast with reduced acetaldehyde production: A brewing yeast with low acetaldehyde from ARTP technology. *Journal of the Institute of Brewing*, 124 (3), 236-243. <https://doi.org/10.1002/jib.498>
- Liu, Z., Zhang, G., & Sun, Y. (2008). Mutagenizing brewing yeast strain for improving fermentation property of beer. *Journal of bioscience and bioengineering*, 106 (1), 33-8. <https://doi.org/10.1263/jbb.106.33>
- Michel, M., Kopecká, J., Meier-Dörnberg, T., Zarnkow, M., Jacob, F., & Hutzler, M. (2015). Screening for new brewing yeasts in the non-*Saccharomyces* sector with *Torulaspora delbrueckii* as model. *Yeast*,

- 33 (4), 129-144. <https://doi.org/10.1002/yea.3146>.
- Muthu, M., Gopal, J., Chun, S., Vimala, A., Jeevanandam, M., & Paul, D. (2018). Pertinency of Pulsed Sonication for Activating Commercial Yeast Clusters. *Journal of Cluster Science*, 29 (10), 641–648. <https://doi.org/10.1007/s10876-018-1376-4>.
- Nºé Arroyo-López, F., Orlić, S., Querol, A., & Barrio, E. (2009). Effects of temperature, pH and sugar concentration on the growth parameters of *Saccharomyces cerevisiae*, *S. kudriavzevii* and their interspecific hybrid. *International Journal of Food Microbiology*, 131 (2-3), 120-127. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2009.01.035>
- Powell, C. D., Quain, D. E., & Smart, K. A. (2003). The impact of brewing yeast cell age on fermentation performance, attenuation and flocculation. *FEMS Yeast Research*, 3 (2), 149-157. [https://doi.org/10.1016/S1567-1356\(03\)00002-3](https://doi.org/10.1016/S1567-1356(03)00002-3)
- Selecky, R., Smogrovicova, D., & Šulak, M. (2005). Low-Alcoholic Beer Production Using Mutant Brewing Yeast. *Kvasny Prumysl*, 51 (7-8), 235-239. <https://doi.org/10.18832/kp2005012>.
- Smart, K. (2017). Yeast Stress and Brewing Fermentations. In N. A. Bokulich, & Ch. W. Bamforth (Eds.), *Brewing Microbiology: Current Research, Omics and Microbial Ecology* (pp. 29-52). Poole, UK: Caister Academic Press. <https://doi.org/10.21775/9781910190616.02>.
- Somani, Bealin-Kelly, F., Axcell, B., & Smart, K. (2013). Impact of Storage Temperature on Lager Brewing Yeast Viability, Glycogen, Trehalose, and Fatty Acid Content. *Cerevisia*, 38 (2), 55. <https://doi.org/10.1016/j.cervis.2013.09.017>.
- Vukosavljević, V. D., Pajovic-Scepanovic, R., Matijašević, S. M., & Maletić, R. O. (2016). Fermentation activity of yeast in pinot noir must. *Romanian Biotechnological Letters*, 21 (2), 11337-11345.
- Zhuang, S., Smart, K., & Powell, C. (2017). Impact of Extracellular Osmolality on *Saccharomyces* Yeast Populations during Brewing Fermentations. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 75 (3), 244-254, <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2017-3505-01>.

Determination of Rational Parameters of Acoustic Processing in order to Activate Brewer's Yeast

Dmitriy V. Karpenko

Moscow State University of Food Production

Correspondence concerning this article should be addressed to Dmitriy V. Karpenko, Moscow State University of Food Production, 11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation. E-mail: doka.65@mail.ru

In fermentation industries, including brewing, the actual tasks are to increase the fermentation activity of yeast and/or to intensify the accumulation of their biomass. To solve them, various methods are currently being proposed, one of which may be pre-treatment with wave or field effects. Earlier in our studies, the principal possibility of intensifying of yeast populations development by sound in the audible range pre-processing was shown. This article is devoted to the study of the influence of acoustic treatment parameters on the characteristics of the yeast cultivation process: the increase in the total cell titer, the proportion of non-viable cells, and the decrease in the weight of the culture medium. The efficiency of treatment of pitching *Saccharomyces cerevisiae* yeast (Saflager W34/70) with audible range sound was determined by varying the parameters of acoustic treatment: the frequency of sound, the duration of the processing, amplitude, distance from the sound source to the processed object (sample of dry yeast). Model media (sterilized 5% sucrose solutions) were inoculated with treated and untreated yeast and cultured at a temperature of 21-26° C without forced stirring for 4 days. Immediately after inoculating and daily in the process of cultivation, controlled indicators were determined. Rational parameters of pre-acoustic treatment of pitching yeast were recognized: the sound frequency of 2765 Hz, duration of 30 minutes, amplitude of 100% at 2 W, the distance between the sound source and the yeast sample 5 cm. In experimental conditions, the weight loss of the nutrient medium was 1.5-2.3 times greater, and the percentage of non-viable cells was 5-30% less compared to the control. The total cell titer in the experimental samples was equal to the control one or 5-10% lower. Based on the results obtained, it was concluded that preliminary acoustic treatment carried out under rational conditions makes it possible to intensify the utilization of nutrient medium components by cells of the brewer's yeast population. This created the prerequisites for testing the proposed method of brewer's yeast activation in conditions close to industrial ones.

Keywords: brewer's yeast, sound of the audible range, acoustic treatment, total titer of yeast cells, utilization of dry substances, percentage of non-viable cells

References

- Bodrova, O. Ju., & Krechetnikova, A. N. (2007). Ultrasonic treatment of pitching yeast in the technology of ethanol. *Proizvodstvo spirta i likerovodochnyh izdelij* [Production of alcohol and alcoholic beverages], 3, 26-29.
- Karpenko, D. V., & Berketova, M. A. (2012). Studying the effect of acoustic oscillations on the quality of brewing barley malt. *Pivo i napitki: bezalkogol'nye, alkogol'nye, soki, vino* [Beer and drinks: non-alcoholic, alcoholic, juices, wine], 5, 14-16.
- Karpenko, D. V., Tihonova, T. A., Hodarev, K. K., Ovchinnikov, Ju. B., & Bezgubov, V. V. (2015). Sposob aktivacii amiloliticheskogo fermentnogo preparata [The method of activation of the amylolytic enzyme preparation]. *Pivo i napitki: bezalkogol'nye, alkogol'nye, soki, vino* [Beer and drinks: non-alcoholic, alcoholic, juices, wine], 4, 42-44.
- Koshova, V., Jazhlo, V., Kaplunenkov, V., & Ogorodnik, Ju. Increase of fermentative activity of brewing yeast using zinc nanoaquachelate. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4, 10 (76), 40-44. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.47888>.
- Alexander, W. G., Peris, D., Pfannenstiel, B. T., Opulente, D. A., Kuang, M., & Hittinger, C. T. (2016). Efficient engineering of marker-free synthetic allotetraploids of *Saccharomyces*. *Fungal genetics and biology*, 89, 10-17. <https://doi.org/10.1016/j.fgb.2015.11.002>
- Anghel, N. (2019). Spruce bark polyphenols as metabolic booster for yeast development. *Cellulose Chemistry and Technology*, 53 (9-10), 925-928.

How to Cite

Karpenko, D. V. (2020). Determination of Rational Parameters of Acoustic Processing in order to Activate Brewer's Yeast. *Health, Food & Biotechnology*, 2(1). <https://doi.org/10.36107/hfb.2020.i1.s290>

- <https://doi.org/10.35812/CelluloseChemTechnol.2019.53.89>.
- Belenikina, N., Strakhovskaya, M., & GYa, F. (1991). Near-UV activation of yeast growth. *Journal of photochemistry and photobiology B: Biology*, 10 (1-2), 51-55. [https://doi.org/10.1016/1011-1344\(91\)80211-Y](https://doi.org/10.1016/1011-1344(91)80211-Y).
- Bleoanca, I., & Bahrim, G. E. (2013). Overview on Brewing Yeast Stress Factors. *Romanian Biotechnological Letters*, 18 (5), 8559-8572.
- Bryant, N. (2019). *The effect of alcohol and bitterness levels on brewing yeast viability*. Master's Theses. California Polytechnic State University, San Luis Obispo. Retrieved from <https://digitalcommons.calpoly.edu/theses/1995>
- Cheeke, J., & David, N. (2002). *Fundamentals and Applications of Ultrasonic Waves*. Boca Raton, Fla., USA: CRC Press, 462 p.
- De Nicola, R., & Walker, G. M. (2009). Accumulation and cellular distribution of zinc by brewing yeast. *Enzyme and Microbial Technology*, 44 (4), 210-216. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2008.11.008>.
- De Nicola, R., & Walker, G. M. (2011) Zinc Interactions with Brewing Yeast: Impact on Fermentation Performance. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 69 (4), 214-219. <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2011-0909-01>.
- Gibson, B., Geertman, J.-M., Hittinger, C., Krogerus, K., Libkind, D., Louis, E., Magalhães, F., & Sampaio, J. (2017). New yeasts-new brews: Modern approaches to brewing yeast design and development. *FEMS Yeast Research*, 17 (4), fox038. <https://doi.org/10.1093/femsyr/fox038>.
- Gorter de Vries, A. R., Pronk, J. N., & Daran, J.-M. (2019). Lager brewing yeasts in the era of modern genetics. *FEMS Yeast Research*, 19 (7). <https://doi.org/10.1093/femsyr/foz063>.
- Heard, G. M., & Fleet, G. H. (1988). The effects of temperature and pH on the growth of yeast species during the fermentation of grape juice. *Journal of Applied Bacteriology*. 65 (1). 23-28. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.1988.tb04312.x>
- Hinchliffe, E. (1989). The genetic improvement of brewing yeast. *Biochemical Society transactions*, 16 (6), 1077-1079. <https://doi.org/10.1042/bst0161077>.
- Iattici, F., Catallo, M., & Solieri, L. (2020). Designing New Yeasts for Craft Brewing: When Natural Biodiversity Meets Biotechnology. *Beverages*. 6 (1), 3-23. <https://doi.org/10.3390/beverages6010003>.
- Jenkins, C. L., Kennedy, A. I., Hodgson, J. A., Thurston, P., & Smart, K. (2003). Impact of serial repitching on lager brewing yeast quality. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 61 (1), 1-9. <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-61-0001>
- Karabín, M., Jelínek, L., Kotrba, P., Cejnar, R., & Dostálek, P. (2017). Enhancing the performance of brewing yeasts. *Biotechnology Advances*, 36 (3), 691-706. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2017.12.014>
- Karpenko, D. V., Gernet, M. V., Krjukova, E. V., Gribkova, I. N., Nurmukhanbetova, D. E., & Assembayeva, E. K. (2019). Acoustic vibration effect on genus *Saccharomyces* yeast population development. *News of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences*, 4 (436), 103-112. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.103>
- Kopecka, J., Němec, M., Matoulková, D., Čejka, P., Jelinkova, M., Felsberg, J., & Sigler, K. (2015). Effect of Growth Conditions on Flocculation and Cell Surface Hydrophobicity of Brewing Yeast. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 73 (2), 143-150. <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2015-0324-01>.
- Krogerus, K., Magalhães, F., Vidgren, V., & Gibson, B. R. (2017). Novel brewing yeast hybrids: creation and application. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 101 (1), 65-78. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-8007-5>.
- Libkind, D., Hittinger, C., Valério, E., Gonçalves, C., Dover, J., Johnston, M., Gonçalves, P., & Sampaio, J. (2011). Microbe domestication and the identification of the wild genetic stock of lager-brewing yeast. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108 (35), 14539-14544. <https://doi.org/10.1073/pnas.1105430108>.
- Liu, C., Li, Q., Niu, C., Tian, Y., Zhao, Y., & Yin, X. (2018). The use of atmospheric and room temperature plasma mutagenesis to create a brewing yeast with reduced acetaldehyde production: A brewing yeast with low acetaldehyde from ARTP technology. *Journal of the Institute of Brewing*, 124 (3), 236-243. <https://doi.org/10.1002/jib.498>.
- Liu, Z., Zhang, G., & Sun, Y. (2008). Mutagenizing brewing yeast strain for improving fermentation property of beer. *Journal of bioscience and bioengineering*, 106 (1), 33-8. <https://doi.org/10.1263/jbb.106.33>.
- Michel, M., Kopecká, J., Meier-Dörnberg, T., Zarnkow, M., Jacob, F., & Hutzler, M. (2015). Screening for new brewing yeasts in the non-Saccharomyces sector with *Torulaspora delbrueckii* as model. *Yeast*, 33 (4), 129-144. <https://doi.org/10.1002/yea.3146>.
- Muthu, M., Gopal, J., Chun, S., Vimala, A., Jeevanandam, M., & Paul, D. (2018). Pertinency of Pulsed Sonication for Activating Commercial Yeast Clusters. *Journal of Cluster Science*, 29 (10), 641-648. <https://doi.org/10.1007/s10876-018-1376-4>.
- Nºe Arroyo-López, F., Orlić, S., Querol, A., & Barrio, E. (2009). Effects of temperature, pH and sugar concentration on the growth parameters

- of *Saccharomyces cerevisiae*, *S. kudriavzevii* and their interspecific hybrid. *International Journal of Food Microbiology*, 131 (2-3), 120-127. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2009.01.035>
- Powell, C. D., Quain, D. E., & Smart, K. A. (2003). The impact of brewing yeast cell age on fermentation performance, attenuation and flocculation. *FEMS Yeast Research*, 3 (2), 149-157. [https://doi.org/10.1016/S1567-1356\(03\)00002-3](https://doi.org/10.1016/S1567-1356(03)00002-3)
- Selecky, R., Smogrovicova, D., & Šulak, M. (2005). Low-Alcoholic Beer Production Using Mutant Brewing Yeast. *Kvasny Prumysl*, 51 (7-8), 235-239. <https://doi.org/10.18832/kp2005012>.
- Smart, K. (2017). Yeast Stress and Brewing Fermentations. In N. A. Bokulich, & Ch. W. Bamforth (Eds.), *Brewing Microbiology: Current Research, Omics and Microbial Ecology* (pp. 29-52). Poole, UK: Caister Academic Press. <https://doi.org/10.21775/9781910190616.02>.
- Somani, Bealin-Kelly, F., Axcell, B., & Smart, K. (2013). Impact of Storage Temperature on Lager Brewing Yeast Viability, Glycogen, Trehalose, and Fatty Acid Content. *Cerevisia*, 38 (2), 55. <https://doi.org/10.1016/j.cervis.2013.09.017>.
- Vukosavljević, V. D., Pajovic-Scepanovic, R., Matijašević, S. M., & Maletić, R. O. (2016). Fermentation activity of yeast in pinot noir must. *Romanian Biotechnological Letters*, 21 (2), 11337-11345.
- Zhuang, S., Smart, K., & Powell, C. (2017). Impact of Extracellular Osmolality on *Saccharomyces* Yeast Populations during Brewing Fermentations. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 75 (3), 244-254, <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2017-3505-01>.

Отходы чайного производства как дополнительный ресурс биологически активных веществ

Щеголева Ирина Дмитриевна, Молчанова Елена Николаевна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Корреспонденция, касающаяся этой статьи, должна быть адресована Щеголевой И.Д., ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», адрес: 125080, город Москва, Волоколамское шоссе, дом 11. E-mail: shchegoleva@mgup.ru

Листья чая являются уникальным источником разнообразных биологически активных веществ, особенно из группы полифенолов. На предприятиях по упаковке чая остаются отходы – чайная пыль. Эта порошкообразная масса состоит из мелких частиц сухого листового чая. В настоящее время она практически не используется. Можно предположить, что по составу и содержанию биологически активных веществ чайная пыль приближается к листовому чаю, следовательно, может быть дополнительным ресурсом биологически активных веществ. Целью работы являлось изучение химического состава и биологической активности чайной пыли, образующейся на предприятиях по упаковке чая, определение возможности использования чайной пыли для получения биологически активных веществ. Проведен сравнительный анализ среднего, составленного из точечных проб, образца чайной пыли, образцов черного листового и зеленого листового чаев, полученных с одного предприятия. Методами лабораторного анализа определены: содержание водорастворимых экстрактивных веществ, общее содержание водорастворимых полифенолов, содержание белка, суммарная антиоксидантная активность водорастворимых веществ чая и другие показатели. Содержание водорастворимых полифенолов и антиоксидантную активность определяли методами, разработанными авторами данной публикации, методы зарегистрированы как изобретения РФ. Органолептическим и химическими анализами установили, что в составе чайной пыли преобладают частицы листьев черного чая, что соответствует доле этого сорта чая в продукции предприятия. При кратковременном режиме экстракции, аналогичном условиям дегустационного заваривания чая (5 мин, 95 °C), содержание экстрактивных веществ в образце чайной пыли составило 35.64%, в черном чае – 32.47%, содержание полифенолов в чайной пыли – 7.76%, в черном чае – 7.95%. В чайной пыли определено высокое содержание белка – на уровне 17.44%. Общая антиоксидантная активность водного экстракта чайной пыли в пересчете на кверцетин составила 29 мг/г, что ниже по сравнению с черным и, особенно зеленым чаем. Проведена оптимизация режимов экстракции водорастворимых веществ из чайной пыли, позволившая увеличить выход полифенолов и антиоксидантную активность экстрактов. Результаты исследования дают основание считать, что отходы чайного производства могут быть использованы как сырье для получения биологически активных веществ таких, как полифенолы, а также являются ресурсом белка.

Ключевые слова: чай, отходы чайного производства, биологически активные вещества, полифенолы, антиоксидантная активность

Введение

Отходы чайного производства представляют большой практический интерес, обусловленный потенциально высоким содержанием биологически активных веществ, особенно из группы полифенолов. Основным отходом предприятий, осуществляю-

щих развес и упаковку импортируемого чая, является чайная пыль. Это – порошкообразная масса, состоящая из мелких частиц сухих чайных листьев. Можно предположить, что по химическому составу чайная пыль похожа на вырабатываемую предприятием чайную продукцию, следовательно, как и готовый листовый чай, может содержать полезные для человека ингредиенты.

Обзор литературы

Чай является одним из самых потребляемых напитков в мире. В России культура потребления чая возведена в ранг традиции, существующей несколько веков. Чай ценят за высокие вкусовые качества и физиологическое действие на организм. Тонизирующий эффект кофеина хорошо знаком любителям чая. В последние десятилетия интерес к чаю возрос благодаря получению данных о тех преимуществах для здоровья, которые дает потребление чая. К ним относятся: химиопрофилактика различных видов рака, профилактика и лечение воспалительных процессов, болезней сердечно-сосудистой системы, диабета, нейродегенеративных заболеваний и др. (Yang et al., 2013, 2018; Yang & Wang, 2016; Qi & Li, 2013; Hursel, 2009; Guo-Yi Tang, 2019). Чайные листья (растения *Camellia sinensis*) отличаются уникальным химическим составом, в том числе необычно высоким содержанием биологически активных веществ, переходящих при заваривании листьев в водный экстракт.

Наибольшее действие на организм человека оказывают полифенолы чая, которые представлены такими группами, как флавоноиды, танины, фенольные кислоты. Основными являются четыре вещества полифенольной природы: эпигаллокатехин-3-галлат, эпикатехин-3-галлат, эпигаллокатехин и эпикатехин (Yang, 2009). Полифенолы составляют до 30% сухой массы свежих чайных листьев (Graham, 1992, Belitz et al., 2009, p. 903).

Чайные полифенолы являются одним из важнейших природных антиоксидантов (Yan et al., 2020). На различие в антиоксидантной способности влияет вид листьев (Zhang, 2018) и размер частиц зеленого чая (Liu et al., 2018). Механизмы, с помощью которых полифенолы чая проявляют антиоксидантные эффекты, включают: ингибирование перекисного окисления липидов, удаление свободных радикалов в синергии с другими питательными веществами, снижение окисления посредством хелатирования ионов металлов (Nakagawa & Yokozawa, 2002). Кроме прямого обезвреживания свободных радикалов в ответ на окислительный стресс, чайные полифенолы также защищают организм от окислительного повреждения, регулируя различные виды оксидантной и антиоксидантной активности ферментов (Yan et al., 2020).

Также полифенолы чая обладают антибактериальной, противовоспалительной, гепатопротекторной активностью, способствуют контролю веса тела, укреплению здоровья полости рта и защите

от солнечного ультрафиолета (McKay & Blumberg, 2002; Cabrera et al., 2006). Были объяснены многочисленные механизмы действия полифенолов чая как химиопрофилактического и терапевтического средства (Peter et al., 2016; Thakur et al., 2012; Wang, et al., 2020; Tang et al., 2019). Исследуя химиопрофилактические свойства десяти типичных полифенолов чая, исследователи (Du, 2012) выяснили, что наиболее сильные антипролиферативные эффекты проявляет эпигаллокатехин-3-галлат.

Ученые-медики отмечают, что чайные полифенолы могут стать новым лекарством для профилактики и лечения заболеваний с меньшим количеством побочных эффектов, чем традиционные лекарства (Chung, 2013).

Полифенольные соединения могут оказывать влияние на физико-химические свойства основных компонентов пищевых продуктов, поэтому часто рассматриваются не только как антиоксидантный, но и функциональный ингредиент. Авторы (Han et al., 2020) изучали влияние порошка зеленого чая, его растворимых компонентов и полифенолов на свойства лапши. Полифенолы чая индуцировали обмен SH/SS-связей во время ее приготовления и улучшали взаимодействие между компонентами. Добавление всех чайных продуктов увеличивало прочность теста и улучшало его текстуру. Лапша с добавлением полифенолов показала наиболее непрерывную и упорядоченную структуру. Исследование полифенолов чая на модификацию яичных белков показало изменение их вторичной структуры: снижение содержания α -спиралей и увеличение содержания β -слоев. Использование модифицированного белка в продуктах сурими привело к образованию более прочной сети и большей влагоудерживающей способности (Zhou et al., 2019). Полифенолы, включая катехины чая, рассматривались в качестве потенциальных добавок, уменьшающих ретроградацию крахмальных студней, образуя водородные связи с компонентами крахмала и препятствуя их повторной ассоциации при охлаждении (Lv et al., 2020).

Среди водонерастворимых компонентов чая внимание исследователей привлекают белковые вещества из-за их функциональных свойств и положительного влияния на здоровье. Было показано, что чайный лист содержит около 26% белка от массы сухих веществ, его аминокислотный состав является схожим с аминокислотным составом соевого белка (Shen et al., 2008). Чайный белок в основном является водонерастворимым и содержит 82% глутелинов и 13% проламинов (Wang et al., 2014). Выход белка зависит от способов выде-

ления и, как показали исследования (Zhang et al., 2013), оптимален при времени экстракции 85 мин, температуре экстракции 80 °С и концентрации щелочи 0,15 М. При таких условиях выход составлял около 23% – для чая улун, 26% – для зеленого и почти 42% – для черного чая. Все три вида обладали хорошими антиоксидантными свойствами.

Функциональные свойства белков чая обусловлены высокими гелеобразующей и пенообразующей способностями (Zhang et al., 2013; Wang et al., 2014). Показывая высокую гидрофобность, белки чая могут являться хорошими эмульгаторами (Ren et al., 2019a). Наночастицы белка из остатков чайного производства могут быть стабилизаторами эмульсии Пикеринга (Ren et al., 2019b, 2020). Являясь пищевыми частицами, они привлекают огромное внимание, поскольку имеют биологическую основу, безопасны для окружающей среды и пригодны в пищу.

Учитывая осведомленность потребителей о полезных свойствах чая и изменение требований к здоровому образу жизни, зеленый чай стал модным ингредиентом на растущем рынке нутрицевтиков и функциональных продуктов. Для повышения антиоксидантной активности продуктов хлебопекарной промышленности рассматривалось добавление в хлеб экстрактов (Пучкова, 2004), порошка зеленого чая (Щеголева, Мойсеяк, 2014; Ning et al., 2017) или микрокапсулированных чайных полифенолов (Pasrija et al., 2015). Известно, что инкапсуляция чайных полифенолов защищает их от разрушения и увеличивает биодоступность (Massounga Bora et al., 2018). Полученный хлеб сохранял свой объем и состояние мякиша и показывал высокую антиоксидантную активность. Использование полифенолов чая в продукции хлебопекарной отрасли не только повышает антиоксидантную активность продуктов, но и способствует снижению уровня глюкозы в крови (Gramza-Michałowska et al., 2016).

Для придания антиоксидантных свойств экстракты и порошок зеленого чая добавляли в кисломолочные продукты (Muniandy et al., 2016, Кролевец и др., 2018), конфеты (Якунина, Рыбчинская, 2016), мучные кондитерские изделия (Белявская, Пучкова, 2010; Щеголева, Молчанова, 2016) рубленные полуфабрикаты мясной промышленности (Перковец, 2012).

Теоретическое обоснование

Анализ материалов опубликованных научных исследований показывает, что компоненты чая име-

ют огромный потенциал для здоровья и могут использоваться не только в традиционном напитке, но и в других продовольственных товарах.

Хотя в России большая часть потребляемого чая приходится на импортируемый чай, фасование происходит на собственных чаеразвесочных фабриках. Соответственно, в производственном процессе образуется большое количество остатков чая, в частности чайной пыли, которые представляют собой неиспользованные ресурсы. Несмотря на значительные объемы, исследования по изучению компонентов отходов чайного производства немногочисленны. Показано, что пептиды, извлеченные из белков чайных остатков, способны снижать кровяное давление (Xingfei et al., 2020), а его этилацетатные и метанольные экстракты обладают антиоксидантной активностью (Farhoosh et al., 2007).

Богатый химический состав чая создает большие возможности для использования вторичных чайных ресурсов для получения биологически активных соединений разного целевого назначения.

Целью работы является анализ химико-биологического потенциала отходов чайного производства – чайной пыли, и определение возможности ее рационального использования.

Исследование

Материалы

В работе использовали три лабораторных образца: средний образец чайной пыли, чай черный листовой, чай зеленый листовой. Все образцы были получены на одном предприятии в один период времени. Средний образец чайной пыли был составлен из 10-ти точечных проб, отобранных в помещении цеха равномерно из мест ее наибольшей концентрации.

Из образцов чайной пыли и листового чая готовили водные экстракты. На первом этапе работы режим экстракции соответствовал условиям дегустационного заваривания чая: к 2 г образца добавляли 100 см³ воды с температурой 95-100 °С, время экстракции составляло 5 мин, затем экстракт отделяли от твердых частиц фильтрованием. На втором этапе определяли влияние режима экстракции на извлечение водорастворимых экстрактивных веществ. Для этого после заваривания образца описанным выше способом время экстракции увеличили до 40 мин, изменяли температуру экстракции.

Методы исследования

В образцах определяли органолептические показатели, массовую долю влаги, общее содержание золы – стандартными лабораторными методами¹, концентрацию сухих веществ в водном экстракте по массе высушенного экстракта, содержание азота и белка – методом Кьельдаля.

Содержание водорастворимых полифенолов и антиоксидантную активность определяли методами, разработанными авторами данной публикации, методы зарегистрированы как изобретения РФ^{2,3}.

Способ определения полифенолов предусматривает колориметрический анализ с применением реактива Folin-Ciocalteu, при соотношении реагентов, обеспечивающем практически мгновенное образование устойчивого окрашенного комплексного соединения. Готовый экстракт чая разбавляли водой в 25 раз. К 0.5 см³ разбавленного экстракта добавляли 3.0 см³ 0.5 М раствора Na₂CO₃ и 0.3 см³ реактива Folin-Ciocalteu. Через 2-3 мин измеряли оптическую плотность раствора при длине волны 765 нм. Концентрацию полифенолов в разбавленном экстракте определяли по градуировочному графику зависимости оптической плотности раствора танина от

массовой концентрации танина в растворе. Количество полифенолов чая, перешедших в водный экстракт, выражали их массовой долей в пробе чая.

Способ определения антиоксидантной активности чая (АОА) включает взаимодействие пробы экстракта чая с реагентом-окислителем (0,001 н раствором 2,6-дихлорфенолиндофенолята натрия) при обесцвечивании последнего. Анализируемую пробу и реагент-окислитель смешивали в соотношении объемов 9:1, через 5 мин реакции определяли уменьшение оптической плотности раствора колориметрическим методом при длине волны 500-520 нм. Параллельно определяли уменьшение оптической плотности раствора, в котором вместо пробы был внесен стандартный антиокислитель – кверцетин. АОА пробы рассчитывали и выражали через активность кверцетина.

Процедура исследования

Был проведен сравнительный анализ органолептических, химических и антиоксидантных характеристик среднего образца чайной пыли, образцов черного листового и зеленого листового чая, полученных с одного предприятия. Определяли внешний вид, цвет и макроструктуру сухих образцов, после чего проводили дегустационное заваривание и оценивали цвет, вкус и аромат экстрактов. В образцах чайной пыли и листового чая определяли массовую долю влаги, общее содержание золы, содержание (выход) водорастворимых экстрактивных веществ, общее содержание (выход) водорастворимых полифенолов, содержание азота общего и небелкового, содержание белка. Оценивали антиоксидантную активность экстрактов. На основании результатов делали вывод о соответствии образца чайной пыли по функциональным, химическим и биологическим характеристикам листовому чаю и о возможности использования чайной пыли как ресурса полифенолов и белков чая. Анализировали влияние времени и температуры экстракции на выход полифенолов и антиоксидантные свойства экстрактов.

Анализ данных

Анализы проводились в 3-4 повторностях, результаты представляли как средние арифметические. Для определения доверительного интервала среднего арифметического результата использовали критерий Стьюдента на уровне значимости $p = 0.05$. Математическую обработку результатов проводили с программами Statistica 6.0, Mathematica 5.2. и TableCurve 3D v4.0.01.

Результаты и их обсуждение

Чайная пыль представляет собой полидисперсный порошок, органолептические, химические и биологические характеристики которого зависят от перерабатываемого предприятием чайного сырья – листового черного и листового зеленого чая.

По органолептическим характеристикам сухих образцов и экстрактов (таблица 1) можно сделать вывод, что в чайной пыли преобладают остатки черного чая – цвет образца чайной пыли кирпично-коричневый, экстракт из него красно-коричневый, недостаточно прозрачный. Вкус и аромат экстракта из чайной пыли были ближе к черному чаю.

¹ ГОСТ 32573-2013 Чай черный. Технические условия. Межгосударственный стандарт.

² Щеголева И.Д., Лисюкова С.В., Лагутин И.А. Способ определения полифенолов чая. Патент на изобретение РФ № 2519767, МПК G01N 33/02, приоритет с 22.05.2013.

³ Щеголева И.Д. Способ определения антиокислительной активности чая. Патент на изобретение РФ №2707498, МПК G01N 33/00, G01N 33/02, приоритет с 02.08.2019.

В целом органолептические характеристики экстракта из чайной пыли были хуже, чем экстракта из листового черного чая.

Начальным этапом оценки возможности промышленного использования чайной пыли был контроль основных химико-технологических показателей, принятых для листового чая – массовая доля влаги, общее содержание золы, содержание экстрактивных веществ. При этом не имела в виду перспектива «питьевого» применения чайной пыли. Сравнительный анализ химико-технологических показателей чайной пыли и листового чая (таблица 2) позволил выявить некоторые особенности для чайной пыли.

Массовая доля влаги в чайной пыли была выше, чем в образцах листового чая на 0.4–0.6%. Частицы чайной пыли имеют большую суммарную поверхность, что увеличивает скорость влагообмена с окружающим воздухом и влияет на содержание влаги. Полученные результаты указывают на рост адсорбции влаги, однако, величина массовой доли влаги в чайной пыли 7.45% не превысила норму, установленную стандартом.

На повышение содержания минеральных веществ в чайной пыли по сравнению с образцами листового чая указывает изменение показателя «общее содержание золы». Видимо, это устойчивая тенденция, так как чайная пыль может содержать дополнительные минеральные загрязнения из-за

продолжительного нахождения в помещении цеха. У исследованного образца чайной пыли общее содержание золы составило 6.19%, что не превышало величину, допустимую стандартом – не более 8%.

Высокая дисперсность чайной пыли, разрушение структуры биологической ткани чайного листа повлияли на процесс экстракции. По сравнению черным чаем экстракция из чайной пыли возросла на 3.17% и составила 35.64%. Содержание водорастворимых экстрактивных веществ в зеленом чае находилось на уровне 35.05%, что не является показательным для данного образца чайной пыли из-за незначительной доли частиц зеленого чая в нем.

Переходя к анализу ресурсов биологически активных соединений в чайной пыли, остановились на двух основных группах – полифенолах и белках. Полифенолы преобладают в водорастворимой фракции чайного листа, а белки – в водонерастворимой (балластной) части.

Полифенолы (катехины и танины) – наиболее исследованные биологически активные вещества чая. Они составляют от 25 до 35% сухой массы свежих чайных листьев (Belitz et al., 2009, p. 903). В многочисленных научных публикациях описаны антиоксидантные, антибактериальные, противовоспалительные, гепатопротекторные свойства полифенолов чая, а также их

Таблица 1
Органолептические показатели образцов чая и чайной пыли

Наименование показателя	Характеристика по образцам:		
	чайная пыль	чай черный	чай зеленый
Внешний вид чая	Однородная, порошкообразная	Однородный, ровный, скрученный	Однородный, ровный, скрученный
Цвет чая	Коричневый, однородный	Темно-коричневый, однородный	Серо-зеленый, однородный
Внешний вид экстракта чая	Красно-коричневый, мутноватый	Красно-коричневый, прозрачный	Желто-зеленый, немного мутный
Вкус и аромат экстракта чая	Нежный аромат, терпкий вкус	Нежный аромат, терпкий вкус	Нежный аромат, слегка горьковатый вкус

Таблица 2
Химико-технологические показатели образцов чая и чайной пыли

Наименование показателя	Значение показателя, %, ГОСТ ⁴			
	ГОСТ ⁴	чайная пыль	чай черный	чай зеленый
Массовая доля влаги	не более 10	7,45	6,85	7,05
Общее содержание золы	4-8	6,19	5,97	5,8
Содержание водорастворимых экстрактивных веществ	не менее 32	35,64	32,47	35,05

⁴ ГОСТ 32573-2013 Чай черный. Технические условия.

применение для контроля веса тела, укрепления здоровья полости рта и защиты от солнечного ультрафиолета (Yang et al., 2013, 2018; Yang & Wang, 2016; Qi & Li, 2013; Hursel, 2009; Guo-Yi Tang, 2019; McKay & Blumberg, 2002; Cabrera et al., 2006). Имеются объяснения механизмов действия полифенолов чая как химиопрофилактического и терапевтического средства (Peter et al. 2016; Thakur et al., 2012; Wang, et al., 2020; Tang et al., 2019). Из этих данных следует, что перспектива получения и использования полифенолов из чайной пыли является наиболее целесообразной. Однако соответствующая информация в научной литературе не представлена.

Нами было определено общее содержание полифенолов в водных экстрактах чайной пыли и листовом чае, затем рассчитано содержание полифенолов в сухих образцах (таблица 3). Подчеркнем, что данные для сухих образцов зависели от условий экстракции и являлись частью от всего содержания полифенолов в образце.

Содержание полифенолов, переходящих в водный экстракт при заваривании образца чайной пыли в течение 5 мин, составило 7,46% от массы пробы. Эта величина была немного ниже, чем у черного чая, и более чем в два раза меньше, чем у зеленого чая. Пониженное содержание полифенолов в черном чае по сравнению с зеленым вызвано, как известно (Цоциашвили, Бокучава, 1989, с.214), их

окислительной ферментацией при первичной переработке свежих листьев по технологии черного чая. Соответственно, чайная пыль, состоящая из частиц черного чая, также содержала меньше полифенолов, чем листовой зеленый чай.

Для большинства представителей полифенолов, в том числе катехинов чая, наиболее устойчиво выражена антиоксидантная активность (Guo-Yi Tang et al., 2019, Yan et al., 2020). По этому показателю чайная пыль ранее не исследовалась. Полученные нами данные (таблица 3) свидетельствуют о том, что антиоксидантные свойства экстрактов чайной пыли близки к черному чаю, но слабее, чем у зеленого листового чая. Также выявлена корреляция между содержанием полифенолов и антиоксидантной активностью. Из представленных данных можно сделать вывод, что чайную пыль можно использовать для получения биологически активных веществ с антиоксидантными свойствами. Более высоким ресурсом антиоксидантной активности будет обладать чайная пыль, полученная при переработке зеленого чая.

В проведенном анализе условия экстракции соответствовали дегустационному завариванию чая (95°C, 5 мин). Известно, что на величину экстракции полифенолов чая влияют параметры экстракции – продолжительность, температура, тип экстрагента и другие. Как показали проведенные нами исследования (таблица 4), растворение экс-

Таблица 3

Содержание полифенолов и антиоксидантная активность образцов чая и чайной пыли

Наименование показателя	Значение показателя по образцам		
	чайная пыль	чай черный	чай зеленый
Содержание водорастворимых полифенолов, %	7,46	7,95	16,22
Антиоксидантная активность, мг/г кверцетина	29,1	31,7	48,5

Таблица 4

Влияние времени и температуры экстракции на выход и антиоксидантную активность водорастворимых веществ чайной пыли

Наименование показателя	Значение показателя, при времени экстракции, мин:				
	5	10	20	30	40
Экстракция при 95 °C					
Содержание водорастворимых экстрактивных веществ, %	35,6	37,5	40,6	41	41,3
Содержание водорастворимых полифенолов, %	7,46	9,18	10,04	10,31	10,32
Антиоксидантная активность, мг/г кверцетина	29,1	32,8	34,1	34,6	34,5
Экстракция при 50 °C					
Содержание водорастворимых экстрактивных веществ, %	18,4	25,2	31,5	36,1	39,7
Содержание водорастворимых полифенолов, %	4,85	6,02	8,06	9,2	10,07
Антиоксидантная активность, мг/г кверцетина	15,3	19,3	24,2	27,4	32

трактивных веществ, в том числе полифенолов, возрастает при увеличении времени экстракции от 5 до 20-30 мин., затем стабилизируется. Общее количество (выход) экстрактивных веществ достигал 41.3 %, полифенолов – 10.32 %. Аналогичная закономерность наблюдалась для антиоксидантной активности. Дополнительно исследовали процесс при температуре экстракции 50°C (таблица 4). Снижение температуры привело почти к двукратному уменьшению экстракции в первые 5 мин., но, к 30-40 минутам были получены значения, близкие к результатам предыдущего опыта. При этом сохранялся резерв дополнительного выхода экстрактивных веществ при продолжении процесса свыше 40 мин.

Среди водонерастворимых компонентов чая внимание исследователей привлекают белковые вещества из-за их функциональных свойств и положительного влияния на здоровье (Zhang et al., 2013; Wang et al., 2014). Кроме того, чайный белок интересен как стабилизатор пищевых эмульсий (Ren et al., 2019a,b,2020) и т.д. Наши результаты (таблица 5) показывают высокое содержание белка в чайной пыли – 17.44 %, оно на 1,5 % ниже, чем в листовом черном чае и на 0,57 % больше, чем в зеленом чае. Таким образом, в отличие от полифенолов, белки чайной пыли в количественном аспекте мало зависят от ее сортового состава. Соотношение общего и небелкового азота в чайной пыли равнялось 3.80 : 1.01, т.е. из азотистых веществ преобладают именно белки. Из полученных данных следует, что при оптимальных режимах экстракции возможно выделение из чайной пыли значительного количества белка и его полезное применение. Предполагаем, что известный опыт выделения белка из листьев чая с использованием 0,15 М раствора щелочи (Zhang et al., 2013) для чайной пыли тоже приемлем.

Заключение

1. Состав чайной пыли коррелирует с количественным соотношением сортов чая, выпу-

скаемых упаковочным предприятием; так, в исследованном образце чайной пыли преобладали частицы черного листового чая.

2. При дегустационном заваривании чайная пыль образует экстракт с пониженными органолептическими характеристиками, но с высоким выходом экстрактивных веществ (35.6 %).
3. В чайной пыли, по сравнению с листовым чаем, обнаружено небольшое увеличение массовой доли влаги и общего содержания золы – в пределах, не превышающих нормы стандарта.
4. По содержанию водорастворимых полифенолов и антиоксидантной активности исследованная чайная пыль приближалась к черному листовому чаю. Следовательно, чайную пыль можно использовать для получения биологически активных веществ с антиоксидантными свойствами. Чайная пыль, получаемая при переработке зеленого чая, будет иметь преимущества.
5. Для получения из чайной пыли концентрированных экстрактов с высокой антиоксидантной активностью продолжительность экстракции должна быть не менее 20 мин. – при температуре 95°C и не менее 40 мин. – при температуре 50°C.
6. Содержание белка в образце чайной пыли составило 17.4 %, что можно расценивать как высокое и перспективное для его выделения и функционального использования.

Литература

- Белявская, И. Г., & Пучкова, Л. И. (2010) Экстракт зеленого чая - перспективное сырье для производства мучных кондитерских изделий функционального назначения. *Кондитерское Производство*, 2, 16.
- Кролевец, А. А., Мячикова, Н. И., Левченко, О. В., & Глотова, С. Г. (2018). Применение наноструктурированного экстракта зеленого чая при производстве кисломолочных функциональных продуктов питания. *Товаровед Продовольственных Товаров*, 3, 58-62.

Таблица 5

Содержание азотистых веществ в образцах чая и чайной пыли

Содержание:	Значение показателя, %, по образцам:		
	чайная пыль	чай черный	чай зеленый
Азот общий	3,8	3,92	3,83
Азот небелковый	1,01	0,89	1,13
Белок	17,44	18,94	16,87

- Перковец, М. (2012). Влияние экстрактов розмари-на и зеленого чая на качество куриных котлет. *Мясная Индустрия*, 11, 56-59.
- Пучкова, Л. И., Белявская, И. Г., & Жамукова Ж. М. (2004). Экстракт зеленого чая – источник био-флавоноидов в хлебобулочных изделиях функ-ционального назначения. *Хлебопечение России*, 2, 26.
- Цоциашвили И.И., Бокучава М.А. (1989) *Химия и технология чая*. Агропромиздат.
- Щеголева, И. Д., & Мойсеяк, М. Б. (2014). Применение зеленого чая в технологии пше-ничного хлеба. *Хлебопечение России*, 4, 18-20.
- Щеголева И. Д., Молчанова Е. Н., Индисова Г. Е., & Селищева Н. Г. (2016) Производство сырцовых пряников из муки тритикале 96%-ного выхода. *Кондитерское производство*, 4, 6-9.
- Якунина, Е. С., & Рыбчинская, В. С. (2016). Использование экстракта зеленого чая в про-изводстве конфет функционального назначе-ния. *Современная Наука: Актуальные Проблемы и Пути их Решения*, 1(23), 46-48.
- Belitz, H., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). *Food chemistry*. Springer Science & Business Media.
- Cabrera, C., Artacho, R., & Giménez, R. (2006). Beneficial effects of green tea—A review. *Journal of the American College of Nutrition*, 25(2), 79-99. <https://doi.org/10.108%7315724.2006.10719518>
- Chung, M. (2013). Molecular mechanisms of che-mpreventive phytochemicals against gastroen-terological cancer development. *World Journal of Gastroenterology*, 19(7), 984. <https://doi.org/10.3748/wjg.v19.i7.984>
- Du, G., Zhang, Z., Wen, X., Yu, C., Calway, T., Yuan, C., & Wang, C. (2012). Epigallocatechin gallate (EGCG) is the most effective cancer Chemopreventive Polyphenol in green tea. *Nutrients*, 4(11), 1679-1691. <https://doi.org/10.3390/nu4111679>
- Farhoosh, R., Golmohammadi, G. A., & Khodaparast, M. H. (2007). Antioxidant activi-ty of various extracts of old tea leaves and Black tea wastes (*Camellia sinensis* L.). *Food Chemistry*, 100(1), 231-236. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.09.046>
- Graham, H. N. (1992). Green tea composi-tion, consumption, and polyphenol chemistry. *Preventive Medicine*, 21(3), 334-350. [https://doi.org/10.1016/0091-7435\(92\)90041-f](https://doi.org/10.1016/0091-7435(92)90041-f)
- Gramza-Michałowska, A., Kobus-Cisowska, J., Kmiecik, D., Korczak, J., Helak, B., Dziedzic, K., & Górecka, D. (2016). Antioxidative potential, nutri-tional value and sensory profiles of confectionery fortified with green and yellow tea leaves (*Camellia sinensis*). *Food Chemistry*, 211, 448-454. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.048>
- Han, C., Ma, M., Zhang, H., Li, M., & Sun, Q. (2020). Progressive study of the effect of superfine green tea, soluble tea, and tea polyphenols on the physi-co-chemical and structural properties of wheat glu-ten in noodle system. *Food Chemistry*, 308, 125676. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125676>
- Hursel, R., Vlechtbauer, W., & Westerterp-Plantenga, M. (2009). Effects of green tea on weight loss and weight maintenance. A meta-anal-ysis. *Appetite*, 52(3), 838. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2009.04.099>
- Liu, Y., Luo, L., Liao, C., Chen, L., Wang, J., & Zeng, L. (2018). Effects of brewing conditions on the phy-tochemical composition, sensory qualities and antioxidant activity of green tea infusion: A study using response surface methodology. *Food Chemistry*, 269, 24-34. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.130>
- lv, Y., Li, M., Pan, J., Zhang, S., Jiang, Y., Liu, J., Zhu, Y., & Zhang, H. (2020). Interactions between tea prod-ucts and wheat starch during retrogradation. *Food Bioscience*, 34, 100523. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100523>
- Massounga Bora, A. F., Ma, S., Li, X., & Liu, L. (2018). Application of microencapsulation for the safe delivery of green tea polyphenols in food systems: Review and recent advances. *Food Research International*, 105, 241-249. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.11.047>
- McKay, D. L., & Blumberg, J. B. (2002). The role of tea in human health: An update. *Journal of the American College of Nutrition*, 21(1), 1-13. <https://doi.org/10.108%7315724.2002.10719187>
- Muniandy, P., Shori, A. B., & Baba, A. S. (2016). Influence of green, white and Black tea addition on the antioxidant activity of probiotic yogurt during refrigerated storage. *Food Packaging and Shelf Life*, 8, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2016.02.002>
- Nakagawa, T., & Yokozawa, T. (2002). Direct scaveng-ing of nitric oxide and superoxide by green tea. *Food and Chemical Toxicology*, 40(12), 1745-1750. [https://doi.org/10.1016/s0278-6915\(02\)00169-2](https://doi.org/10.1016/s0278-6915(02)00169-2)
- Ning, J., Hou, G. G., Sun, J., Wan, X., & Dubat, A. (2017). Effect of green tea powder on the quality attributes and antioxidant activity of whole-wheat flour pan bread. *LWT - Food Science and Technology*, 79, 342-348. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.01.052>
- Pan, J., Li, M., Zhang, S., Jiang, Y., Lv, Y., Liu, J., Liu, Q., Zhu, Y., & Zhang, H. (2019). Effect of epigallocate-chin gallate on the gelatinisation and retrograda-tion of wheat starch. *Food Chemistry*, 294, 209-215. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.048>
- Pasrija, D., Ezhilarasi, P., Indrani, D., & Anandharamakrishnan, C. (2015). Microencapsulation of green tea polyphenols and its effect on incorporated bread quality. *LWT - Food Science and Technology*, 64(1), 289-296. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.048>

- org/10.1016/j.lwt.2015.05.054
- Peter, B., Bosze, S., & Horvath, R. (2016). Biophysical characteristics of proteins and living cells exposed to the green tea polyphenol epigallocatechin-3-gallate (EGCg): Review of recent advances from molecular mechanisms to nanomedicine and clinical trials. *European Biophysics Journal*, 46(1), 1-24. <https://doi.org/10.1007/s00249-016-1141-2>
- Qi, H., & Li, S. (2013). Dose-response meta-analysis on coffee, tea and caffeine consumption with risk of Parkinson's disease. *Geriatrics & Gerontology International*, 14(2), 430-439. <https://doi.org/10.1111/ggi.12123>
- Ren, Z., Chen, Z., Zhang, Y., Lin, X., & Li, B. (2019). Novel food-grade Pickering emulsions stabilized by tea water-insoluble protein nanoparticles from tea residues. *Food Hydrocolloids*, 96, 322-330. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.05.015>
- Ren, Z., Chen, Z., Zhang, Y., Zhao, T., Ye, X., Gao, X., Lin, X., & Li, B. (2019). Functional properties and structural profiles of water-insoluble proteins from three types of tea residues. *LWT*, 110, 324-331. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.04.101>
- Ren, Z., Chen, Z., Zhang, Y., Lin, X., & Li, B. (2020). Characteristics and rheological behavior of Pickering emulsions stabilized by tea water-insoluble protein nanoparticles via high-pressure homogenization. *International Journal of Biological Macromolecules*, 151, 247-256. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.090>
- Shen, L., Wang, X., Wang, Z., Wu, Y., & Chen, J. (2008). Studies on tea protein extraction using alkaline and enzyme methods. *Food Chemistry*, 107(2), 929-938. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.08.047>
- Thakur, V.S., Gupta, K., & Gupta, S. (2012). The Chemopreventive and Chemotherapeutic potentials of tea polyphenols. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 13(1), 191-199. <https://doi.org/10.2174/138920112798868584>
- Tang, G., Meng, X., Gan, R., Zhao, C., Liu, Q., Feng, Y., Li, S., Wei, X., Atanasov, A. G., Corke, H., & Li, H. (2019). Health functions and related molecular mechanisms of tea components: An update review. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(24), 6196. <https://doi.org/10.3390/ijms20246196>
- Wang, B., Jiang, Y., Liu, J., Zhang, W., Pan, S., & Mao, Y. (2014). Physicochemical and functional properties of tea protein. *International Journal of Food Properties*, 17(10), 2275-2283. <https://doi.org/10.1080/10942912.2013.787537>
- Xingfei, L., Shunshun, P., Wenji, Z., Lingli, S., Qiuhua, L., Ruohong, C., & Shili, S. (2020). Properties of ACE inhibitory peptide prepared from protein in green tea residue and evaluation of its anti-hypertensive activity. *Process Biochemistry*, 92, 277-287. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2020.01.021>
- Yan, Z., Zhong, Y., Duan, Y., Chen, Q., & Li, F. (2020). Antioxidant mechanism of tea polyphenols and its impact on health benefits. *Animal Nutrition*. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2020.01.001>
- Yang, C. S., Lambert, J. D., & Sang, S. (2008). Antioxidative and anti-carcinogenic activities of tea polyphenols. *Archives of Toxicology*, 83(1), 11-21. <https://doi.org/10.1007/s00204-008-0372-0>
- Yang, C. S., Wang, H., & Sheridan, Z. P. (2018). Studies on prevention of obesity, metabolic syndrome, diabetes, cardiovascular diseases and cancer by tea. *Journal of Food and Drug Analysis*, 26(1), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2017.10.010>
- Yang, C., & Wang, H. (2016). Cancer preventive activities of tea Catechins. *Molecules*, 21(12), 1679. <https://doi.org/10.3390/molecules21121679>
- Yang, W., Wang, W., Fan, W., Deng, Q., & Wang, X. (2013). Tea consumption and risk of type 2 diabetes: A dose-response meta-analysis of cohort studies. *British Journal of Nutrition*, 111(8), 1329-1339. <https://doi.org/10.1017/s0007114513003887>
- Zhang, C., Suen, C. L., Yang, C., & Quek, S. Y. (2018). Antioxidant capacity and major polyphenol composition of teas as affected by geographical location, plantation elevation and leaf grade. *Food Chemistry*, 244, 109-119. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.126>
- Zhang, Y., Chen, H., Zhang, N., & Ma, L. (2013). Antioxidant and functional properties of tea protein as affected by the different tea processing methods. *Journal of Food Science and Technology*, 52(2), 742-752. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1094-8>
- Zhou, X., Chen, T., Lin, H., Chen, H., Liu, J., Lyu, F., & Ding, Y. (2019). Physicochemical properties and microstructure of surimi treated with egg white modified by tea polyphenols. *Food Hydrocolloids*, 90, 82-89. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.07.031>

Tea Production Waste as an Additional Resource of Biologically Active Substances

Irina D. Schegoleva, Elena N. Molchanova

Moscow State University of Food Production

Correspondence concerning this article should be addressed to Irina D. Schegoleva, Moscow State University of Food Production, 11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation. E-mail: shchegolevaaid@mgupp.ru

Tea leaves are a unique source of various biologically active substances, especially from the group of polyphenols. Tea packaging enterprises still have waste - tea dust. This powdery mass consists of fine particles of dry leaf tea. Currently, it is practically not used. It can be assumed that the composition and content of biologically active substances tea dust is approaching leaf tea, therefore, may be an additional resource of biologically active substances. The aim of the work is to study the chemical composition and biological activity of tea dust generated at tea packaging enterprises, to determine the possibility of using tea dust to obtain biologically active substances. A comparative analysis of the average, consisting of spot samples, a tea dust sample, black tea and green tea samples obtained from one enterprise was carried out. Laboratory analysis methods determined: the content of water-soluble extractive substances, the total content of water-soluble polyphenols, the protein content, the total antioxidant activity of water-soluble substances of tea and other indicators. Laboratory analysis methods determined: the content of water-soluble extractive substances, the total content of water-soluble polyphenols, the protein content, the total antioxidant activity of water-soluble substances of tea and other indicators. The content of water-soluble polyphenols and antioxidant activity were determined by the methods developed by the authors of this publication, the methods are registered as inventions of the Russian Federation. Organoleptic and chemical analyzes established that black tea leaf particles prevail in the composition of tea dust, which corresponds to the share of this tea variety in the enterprise's products. With a short-term extraction mode, similar to the conditions for tasting brewing tea (5 min, 95 °C), the content of extractives in the tea dust sample was 35.64 %, in black tea - 32.47 %, the polyphenol content in tea dust - 7.76 %, in black tea - 7.95 %. Tea dust has a high protein content of 17.44 %. The total antioxidant activity of the aqueous extract of tea dust in terms of quercetin was 29 mg / g. which is lower compared to black and, especially, green tea. The modes of extraction of water-soluble substances from tea dust were optimized, which allowed to increase the yield of polyphenols and antioxidant activity of the extracts. The results of the study suggest that tea production wastes can be used as raw materials for the production of biologically active substances such as polyphenols, and also are a protein resource.

Keywords: tea, tea production waste, biologically active substances, polyphenols, antioxidant activity

References

- Belyavskaya, I. G., & Puchkova, L. I. (2010). Green tea extract is a promising raw material for the production of functional flour confectionery. *Konditerskoe Proizvodstvo [Confectionery Production]*, 2, 16.
- Krolevets, A. A., Myachikova, N. I., Levchenko, O. V., & Glotova, S. G. (2018). The use of nanostructured green tea extract in the production of fermented functional milk products. *Tovaroved Prodoval'stvennyh Tovarov [Merchandiser of Food Products]*, 3, 58-62.
- Perkovets, M. (2012). The effect of extracts of rosemary and green tea on the quality of chicken cutlets. *Myasnaya Industriya [Meat Industry]*, 11, 56-59.
- Puchkova, L. I., Belyavskaya, I. G., & Zhamukova Zh. M. (2004). Green tea extract is a source of bioflavonoids in functional bakery products. *Hlebopechenie Rossii [Bakery in Russia]*, 2, 2.
- Tsotsiashvili, I. I., & Bokuchava, M. A. (1989). Chemistry and technology of tea. Agropromizdat.
- Shchegoleva, I. D., & Moyseyak, M. B. (2014). The use of green tea in wheat bread technology. *Hlebopechenie Rossii [Bakery in Russia]*, 4, 18-20.

How to Cite

Shchegoleva, I. D., & Molchanova, E. N. (2020). Tea Production Waste as an Additional Resource of Biologically Active Substances. *Health, Food & Biotechnology*, 2(1). <https://doi.org/10.36107/hfb.2020.i1.s297>

- Schegoleva, I. D., Molchanova, E. N., Indisova, G. E., & Selishcheva, N. G. (2016). Production of raw gingerbread from triticale flour 96 % yield. *Konditer-skoe Proizvodstvo [Confectionery production]*, 4, 6-9.
- Yakunina, E. S., & Rybchinskaya, V. S. (2016). The use of green tea extract in the production of functional sweets. *Sovremennaya Nauka: Aktual'nye Problemy i Puti ih Resheniya [Modern Science: Actual Problems and Ways to Solve]*, 1(23), 46-48.
- Belitz, H., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). *Food chemistry*. Springer Science & Business Media.
- Cabrera, C., Artacho, R., & Giménez, R. (2006). Beneficial effects of green tea—A review. *Journal of the American College of Nutrition*, 25(2), 79-99. <https://doi.org/10.108%7315724.2006.10719518>
- Chung, M. (2013). Molecular mechanisms of chemopreventive phytochemicals against gastroenterological cancer development. *World Journal of Gastroenterology*, 19(7), 984. <https://doi.org/10.3748/wjg.v19.i7.984>
- Du, G., Zhang, Z., Wen, X., Yu, C., Calway, T., Yuan, C., & Wang, C. (2012). Epigallocatechin gallate (EGCG) is the most effective cancer Chemopreventive Polyphenol in green tea. *Nutrients*, 4(11), 1679-1691. <https://doi.org/10.3390/nu4111679>
- Farhoosh, R., Golmovahhed, G. A., & Khodaparast, M. H. (2007). Antioxidant activity of various extracts of old tea leaves and Black tea wastes (*Camellia sinensis* L.). *Food Chemistry*, 100(1), 231-236. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.09.046>
- Graham, H. N. (1992). Green tea composition, consumption, and polyphenol chemistry. *Preventive Medicine*, 21(3), 334-350. [https://doi.org/10.1016/0091-7435\(92\)90041-f](https://doi.org/10.1016/0091-7435(92)90041-f)
- Gramza-Michałowska, A., Kobus-Cisowska, J., Kmiecik, D., Korczak, J., Helak, B., Dziedzic, K., & Górecka, D. (2016). Antioxidative potential, nutritional value and sensory profiles of confectionery fortified with green and yellow tea leaves (*Camellia sinensis*). *Food Chemistry*, 211, 448-454. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.048>
- Han, C., Ma, M., Zhang, H., Li, M., & Sun, Q. (2020). Progressive study of the effect of superfine green tea, soluble tea, and tea polyphenols on the physico-chemical and structural properties of wheat gluten in noodle system. *Food Chemistry*, 308, 125676. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125676>
- Hursel, R., Viechtbauer, W., & Westerterp-Plantenga, M. (2009). Effects of green tea on weight loss and weight maintenance. A meta-analysis. *Appetite*, 52(3), 838. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2009.04.099>
- Liu, Y., Luo, L., Liao, C., Chen, L., Wang, J., & Zeng, L. (2018). Effects of brewing conditions on the phytochemical composition, sensory qualities and antioxidant activity of green tea infusion: A study using response surface methodology. *Food Chemistry*, 269, 24-34. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.130>
- lv, Y., Li, M., Pan, J., Zhang, S., Jiang, Y., Liu, J., Zhu, Y., & Zhang, H. (2020). Interactions between tea products and wheat starch during retrogradation. *Food Bioscience*, 34, 100523. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2019.100523>
- Massounga Bora, A. F., Ma, S., Li, X., & Liu, L. (2018). Application of microencapsulation for the safe delivery of green tea polyphenols in food systems: Review and recent advances. *Food Research International*, 105, 241-249. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.11.047>
- McKay, D. L., & Blumberg, J. B. (2002). The role of tea in human health: An update. *Journal of the American College of Nutrition*, 21(1), 1-13. <https://doi.org/10.108%7315724.2002.10719187>
- Muniandy, P., Shori, A. B., & Baba, A. S. (2016). Influence of green, white and Black tea addition on the antioxidant activity of probiotic yogurt during refrigerated storage. *Food Packaging and Shelf Life*, 8, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2016.02.002>
- Nakagawa, T., & Yokozawa, T. (2002). Direct scavenging of nitric oxide and superoxide by green tea. *Food and Chemical Toxicology*, 40(12), 1745-1750. [https://doi.org/10.1016/s0278-6915\(02\)00169-2](https://doi.org/10.1016/s0278-6915(02)00169-2)
- Ning, J., Hou, G. G., Sun, J., Wan, X., & Dubat, A. (2017). Effect of green tea powder on the quality attributes and antioxidant activity of whole-wheat flour pan bread. *LWT - Food Science and Technology*, 79, 342-348. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.01.052>
- Pan, J., Li, M., Zhang, S., Jiang, Y., lv, Y., Liu, J., Liu, Q., Zhu, Y., & Zhang, H. (2019). Effect of epigallocatechin gallate on the gelatinisation and retrogradation of wheat starch. *Food Chemistry*, 294, 209-215. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.048>
- Pasrija, D., Ezhilarasi, P., Indrani, D., & Anandharamakrishnan, C. (2015). Microencapsulation of green tea polyphenols and its effect on incorporated bread quality. *LWT - Food Science and Technology*, 64(1), 289-296. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.05.054>
- Peter, B., Bosze, S., & Horvath, R. (2016). Biophysical characteristics of proteins and living cells exposed to the green tea polyphenol epigallocatechin-3-gallate (EGCg): Review of recent advances from molecular mechanisms to nanomedicine and clinical trials. *European Biophysics Journal*, 46(1), 1-24. <https://doi.org/10.1007/s00249-016-1141-2>
- Qi, H., & Li, S. (2013). Dose-response meta-analysis on coffee, tea and caffeine consumption with risk of Parkinson's disease. *Geriatrics & Gerontology International*, 14(2), 430-439. <https://doi.org/10.1111/ggi.12123>

- Ren, Z., Chen, Z., Zhang, Y., Lin, X., & Li, B. (2019). Novel food-grade Pickering emulsions stabilized by tea water-insoluble protein nanoparticles from tea residues. *Food Hydrocolloids*, 96, 322-330. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.05.015>
- Ren, Z., Chen, Z., Zhang, Y., Zhao, T., Ye, X., Gao, X., Lin, X., & Li, B. (2019). Functional properties and structural profiles of water-insoluble proteins from three types of tea residues. *LWT*, 110, 324-331. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.04.101>
- Ren, Z., Chen, Z., Zhang, Y., Lin, X., & Li, B. (2020). Characteristics and rheological behavior of Pickering emulsions stabilized by tea water-insoluble protein nanoparticles via high-pressure homogenization. *International Journal of Biological Macromolecules*, 151, 247-256. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.090>
- Shen, L., Wang, X., Wang, Z., Wu, Y., & Chen, J. (2008). Studies on tea protein extraction using alkaline and enzyme methods. *Food Chemistry*, 107(2), 929-938. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.08.047>
- Thakur, V.S., Gupta, K., & Gupta, S. (2012). The Chemopreventive and Chemotherapeutic potentials of tea polyphenols. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 13(1), 191-199. <https://doi.org/10.2174/138920112798868584>
- Tang, G., Meng, X., Gan, R., Zhao, C., Liu, Q., Feng, Y., Li, S., Wei, X., Atanasov, A. G., Corke, H., & Li, H. (2019). Health functions and related molecular mechanisms of tea components: An update review. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(24), 6196. <https://doi.org/10.3390/ijms20246196>
- Wang, B., Jiang, Y., Liu, J., Zhang, W., Pan, S., & Mao, Y. (2014). Physicochemical and functional properties of tea protein. *International Journal of Food Properties*, 17(10), 2275-2283. <https://doi.org/10.1080/10942912.2013.787537>
- Xingfei, L., Shunshun, P., Wenji, Z., Lingli, S., Qiuhua, L., Ruohong, C., & Shili, S. (2020). Properties of ACE inhibitory peptide prepared from protein in green tea residue and evaluation of its anti-hypertensive activity. *Process Biochemistry*, 92, 277-287. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2020.01.021>
- Yan, Z., Zhong, Y., Duan, Y., Chen, Q., & Li, F. (2020). Antioxidant mechanism of tea polyphenols and its impact on health benefits. *Animal Nutrition*. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2020.01.001>
- Yang, C. S., Lambert, J. D., & Sang, S. (2008). Antioxidative and anti-carcinogenic activities of tea polyphenols. *Archives of Toxicology*, 83(1), 11-21. <https://doi.org/10.1007/s00204-008-0372-0>
- Yang, C. S., Wang, H., & Sheridan, Z. P. (2018). Studies on prevention of obesity, metabolic syndrome, diabetes, cardiovascular diseases and cancer by tea. *Journal of Food and Drug Analysis*, 26(1), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2017.10.010>
- Yang, C., & Wang, H. (2016). Cancer preventive activities of tea Catechins. *Molecules*, 21(12), 1679. <https://doi.org/10.3390/molecules21121679>
- Yang, W., Wang, W., Fan, W., Deng, Q., & Wang, X. (2013). Tea consumption and risk of type 2 diabetes: A dose-response meta-analysis of cohort studies. *British Journal of Nutrition*, 111(8), 1329-1339. <https://doi.org/10.1017/s0007114513003887>
- Zhang, C., Suen, C. L., Yang, C., & Quek, S. Y. (2018). Antioxidant capacity and major polyphenol composition of teas as affected by geographical location, plantation elevation and leaf grade. *Food Chemistry*, 244, 109-119. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.126>
- Zhang, Y., Chen, H., Zhang, N., & Ma, L. (2013). Antioxidant and functional properties of tea protein as affected by the different tea processing methods. *Journal of Food Science and Technology*, 52(2), 742-752. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1094-8>
- Zhou, X., Chen, T., Lin, H., Chen, H., Liu, J., Lyu, F., & Ding, Y. (2019). Physicochemical properties and microstructure of surimi treated with egg white modified by tea polyphenols. *Food Hydrocolloids*, 90, 82-89. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.07.031>

