

ISSN 2072-9669  
eISSN 2658-767X

# ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА СЕЛЬХОЗСЫРЬЯ

ХиПС

32(4) | 2024

Storage and Processing  
of Farm Products

SPFP



# ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА СЕЛЬХОЗСЫРЬЯ

Том 32, № 4 | 2024

Периодичность издания — 4 номера в год  
Основан в 1993 г.

ISSN 2072–9669

eISSN 2658–767X

**УЧРЕДИТЕЛЬ, ИЗДАТЕЛЬ И РЕДАКЦИЯ:** Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Российская Федерация.

**РЕДАКЦИЯ**

Заведующий редакцией и академический редактор — Тихонова Елена Викторовна.

Выпускающий редактор — Иванова Марина Александровна.

Ответственный секретарь — Косычева Марина Александровна.

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77–71128 от 22 сентября 2017 г.

Журнал включен в «Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук» по группам специальностей:

- 4.3.5. Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ (технические науки) — с 01.02.2022
- 4.1.4. Садоводство, овощеводство, виноградарство и лекарственные культуры (биологические науки) — с 15.02.2023
- 4.1.4. Садоводство, овощеводство, виноградарство и лекарственные культуры (технические науки) — с 15.02.2023
- 4.1.4. Садоводство, овощеводство, виноградарство и лекарственные культуры сельскохозяйственные науки — с 15.02.2023
- 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки) — с 15.02.2023
- 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (сельскохозяйственные науки) — с 15.02.2023
- 4.3.3. Пищевые системы (биологические науки) — с 15.02.2023
- 4.3.3. Пищевые системы (технические науки) — с 15.02.2023
- 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки) — с 15.02.2023

**КОНТАКТЫ РЕДАКЦИИ:**

125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11

Тел. +7 (499) 750–01–11\*6585

E-mail: [info@spfp-mgupp.ru](mailto:info@spfp-mgupp.ru)

Сайт учредителя: <https://www.mgupp.ru>

Сайт журнала: <https://www.spfp-mgupp.ru>

Отпечатано в ООО «Издательство «Перспект»

121471, Москва, ул. Рябиновая, 51-А, стр. 1.

Формат 60×84 1/8. Печать офсетная. Бумага офсетная.

Тираж 100 экз. Подписано в печать 27.12.2024. Свободная цена.

© Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), 2024

# STORAGE AND PROCESSING OF FARM PRODUCTS

Vol. 32, No. 4 | 2024

Periodicity of publication — quarterly  
Published since 1993

ISSN 2072–9669

eISSN 2658–767X

**FOUNDER, PUBLISHER AND EDITORIAL:** Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Moscow, Russian Federation.

**EDITORIAL OFFICE**

Head of Editorial Team and Academic Editor — Elena V. Tikhonova.

Issue Editor — Marina A. Ivanova.

Executive Secretary — Marina A. Kosycheva.

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 PI No FS77–71128 dated September 22, 2017.

The Journal is included in the «List of Russian peer-reviewed scientific journals in which the main scientific results of dissertations for the academic degrees of a doctor and candidate of sciences should be published» according to the groups of specialties:

- 4.3.5. Biotechnology of food and biologically active substances (technical sciences) — from 01.02.2022
- 4.1.4. Gardening, vegetable growing, viticulture and medicinal crops (biological sciences) — from 15.02.2023
- 4.1.4. Horticulture, vegetable growing, viticulture and medicinal crops (technical sciences) — from 15.02.2023
- 4.1.4. Horticulture, vegetable growing, viticulture and medicinal crops agricultural sciences) — from 15.02.2023
- 4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences) — from 15.02.2023
- 4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (agricultural sciences) — from 15.02.2023
- 4.3.3. Food systems (biological sciences) — from 15.02.2023
- 4.3.3. Food systems (technical sciences) — from 15.02.2023
- 2.3.3. Automation and control of technological processes and productions (technical sciences) — from 15.02.2023

**EDITORIAL CONTACTS:**

11 Volokolamskoe Highway, Moscow, 125080, Russian Federation

Tel. +7 (499) 750–01–11\*6585

E-mail: [info@spfp-mgupp.ru](mailto:info@spfp-mgupp.ru)

Founder website: <https://www.mgupp.ru>

Journal website: <https://www.spfp-mgupp.ru>

Printed by LLC “Prospect Publishing House”

121471, Moscow, Ryabinovaya Street, 51-A, Bldg. 1.

Format 60×84 1/8. Seal offset. Offset paper. 100 copies.

Signed in print 27.12.2024. Free price.

© Russian Biotechnological University (BIOTECH University), 2024

## ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

**ДАНИЛЬЧУК ТАТЬЯНА НИКОЛАЕВНА** — доктор технических наук, директор института прикладной биотехнологии имени академика РАН И.А. Рогова, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Российская Федерация

## Члены редакционной коллегии:

<b>Абдельмаксуд</b> Тарек Гамаль	доктор пищевых наук, Адъюнкт-профессор Кафедра пищевых наук, Сельскохозяйственный факультет, Каирский университет, Гиза, Египет.
<b>Аксёнова</b> Лариса Михайловна	доктор технических наук, профессор, академик РАН, Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, г. Москва, Российская Федерация
<b>Акулич</b> Александр Васильевич	доктор технических наук, профессор, заслуженный изобретатель Республики Беларусь, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, г. Могилев, Республика Беларусь
<b>Аль-Наддаф</b> Лина	PhD (биотехнология и молекулярная биология), Университет Аль-Баас, г. Хомс, Сирийская Арабская Республика
<b>Андреев</b> Николай Руфеевич	доктор технических наук, член-корреспондент РАН, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов — филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, г. Москва, Российская Федерация
<b>Ансори</b> Ариф Нур Мухаммад	PhD, Доктор ветеринарных наук, научный сотрудник, Университет Айрланга, Сурабая, Индонезия
<b>Ахремчик</b> Олег Леонидович	доктор технических наук, профессор кафедры автоматизации технологических процессов, Тверской государственной технической университет, г. Тверь, Российская Федерация
<b>Баскаков</b> Иван Васильевич	доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, г. Воронеж, Российская Федерация
<b>Битюков</b> Виталий Ксенофонтович	доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, Воронежский государственный университет инженерных технологий, г. Воронеж, Российская Федерация
<b>Боронтов</b> Олег Константинович	доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы им. А.Л. Мазлумова, г. Воронеж, Российская Федерация
<b>Гинс</b> Мурат Сабирович	доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, Федеральный научный центр овощеводств, г. Москва, Российская Федерация
<b>Горлов</b> Иван Федорович	доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, Поволжский НИИ производства и переработки мясомолочной продукции, г. Волгоград, Российская Федерация
<b>Гудковский</b> Владимир Александрович	доктор сельскохозяйственных наук, профессор академик РАН, Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина, г. Мичуринск, Российская Федерация
<b>Добровольский</b> Виктор Францевич	доктор технических наук, НИИ пищевых концентратной промышленности и специальной пищевой технологии — филиал ФИЦ питания и биотехнологии, г. Москва, Российская Федерация
<b>Донник</b> Ирина Михайловна	доктор биологических наук, профессор, академик РАН, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», г. Москва, Российская Федерация
<b>Ильина</b> Ирина Анатольевна	доктор технических наук, Северокавказский зональный научно-исследовательский институт садоводства и виноградарства, г. Краснодар, Российская Федерация
<b>Калашникова</b> Елена Анатольевна	доктор биологических наук, профессор, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация
<b>Коденцова</b> Вера Митрофановна	доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, Федеральный исследовательский центра питания и биотехнологий, г. Москва, Российская Федерация
<b>Копусь</b> Михаил Мефодьевич	доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Аграрный научный центр «Донской», Центр фундаментальных научных исследований, г. Зерноград, Российская Федерация
<b>Короткий</b> Игорь Алексеевич	доктор технических наук, профессор, Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Российская Федерация
<b>Косован</b> Анатолий Павлович	доктор экономических наук, академик РАН, НИИ хлебопекарной промышленности, г. Москва, Российская Федерация
<b>Красуля</b> Ольга Николаевна	доктор технических наук, профессор, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация
<b>Кульнева</b> Надежда Григорьевна	доктор технических наук, профессор, Воронежский государственный университет инженерных технологий, г. Воронеж, Российская Федерация
<b>Левшин</b> Александр Григорьевич	доктор технических наук, профессор, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация

<b>Лисицын</b> Александр Николаевич	доктор технических наук, Всероссийский научно-исследовательский институт жиров, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
<b>Лисицын</b> Андрей Борисович	доктор технических наук, академик РАН, Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, г. Москва, Российская Федерация
<b>Мелешкина</b> Елена Павловна	доктор технических наук, Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки — филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, г. Москва, Российская Федерация
<b>Неверов</b> Евгений Николаевич	доктор технических наук, профессор, Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Российская Федерация
<b>Никитюк</b> Дмитрий Борисович	доктор медицинских наук, член-корреспондент РАН, профессор, Федеральное исследовательское учреждение питания и биотехнологии, г. Москва, Российская Федерация
<b>Никифоров-Никишин</b> Алексей Львович	доктор биологических наук, профессор, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского, г. Москва, Российская Федерация
<b>Оганесянц</b> Лев Арсенович	доктор технических наук, академик РАН, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности — филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, г. Москва, Российская Федерация
<b>Ожерельев</b> Виктор Николаевич	доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Брянский государственный аграрный университет, г. Брянск, Российская Федерация
<b>Оробинский</b> Владимир Иванович	доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, г. Воронеж, Российская Федерация
<b>Пасынкова</b> Елена Николаевна	доктор биологических наук, Федеральный исследовательский центр картофеля им. А.Г. Лорха, филиал Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «Белогорка», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
<b>Панфилов</b> Виктор Александрович	доктор технических наук, академик РАН, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация
<b>Петров</b> Андрей Николаевич	доктор технических наук, академик РАН, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования — филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, г. Москва, Российская Федерация
<b>Подвигина</b> Ольга Анатольевна	доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара имени А.Л. Мазлумова, г. Воронеж, Российская Федерация
<b>Ражабов</b> Тошпулот Файзуллоевич	PhD, Самаркандский государственный университет имени Шарофа Рашидова, г. Самарканд, Республика Узбекистан
<b>Савина</b> Ольга Васильевна	доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, г. Рязань, Российская Федерация
<b>Сагян</b> Ашот Серобович	академик, доктор химических наук, профессор, президент, Национальная Академия наук, Республика Армения
<b>Симоненко</b> Сергей Владимирович	доктор технических наук, Научно-исследовательский институт детского питания — филиал Федерального исследовательского центра питания и биотехнологии, г. Истра, Российская Федерация
<b>Стогниенко</b> Ольга Ивановна	доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара имени А.Л. Мазлумова, г. Воронеж, Российская Федерация
<b>Титов</b> Евгений Иванович	доктор технических наук, академик РАН, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Российская Федерация
<b>Тихомирова</b> Наталья Александровна	доктор технических наук, профессор, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Российская Федерация
<b>Тужилкин</b> Вячеслав Иванович	доктор технических наук, член-корреспондент РАН, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Российская Федерация
<b>Тутельян</b> Виктор Александрович	доктор медицинских наук, академик РАН, профессор, Федеральный исследовательский центр питания и биотехнологии, г. Москва, Российская Федерация
<b>Ульрих</b> Наташа Поклар	PhD (биохимия), профессор, Университет Любляны, г. Любляна, Словения
<b>Уша</b> Борис Вениаминович	доктор ветеринарных наук, академик РАН, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Российская Федерация
<b>Храмцов</b> Андрей Георгиевич	доктор технических наук, академик РАН, Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, Российская Федерация
<b>Шингисов</b> Азрет Утебаевич	доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Академии естественных наук РФ, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, г. Шымкент, Республика Казахстан

## EDITOR-IN-CHIEF

**TATIANA N. DANILCHUK** – Doctor of Science (Engineering), Director of the Institute of Applied Biotechnology named after academician I.A. Rogov, Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Moscow, Russian Federation

## Members of the Editorial Board:

<b>Tarek Gamal Abedelmaksoud</b>	PhD of Food Science, Associate Professor, Food Science Department, Faculty of Agriculture, Cairo University, Giza, Egypt
<b>Larisa M. Aksyonova</b>	Doctor of Science (Engineering), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Federal Research Centre of Food Systems named after V.M. Gorbatov, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation
<b>Alexander V. Akulich</b>	Doctor of Science (Engineering), Honoured Inventor of the Republic of Belarus, Professor, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Mogilev, Republic of Belarus
<b>Lina Alnaddaf</b>	PhD in Biotechnology and Molecular Biology, Albaath University, Homs, Syrian Arab Republic
<b>Nikolay R. Andreev</b>	Doctor of Science (Engineering), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Research Institute of Starch – branch of the Federal Research Centre of Food Systems named after V.M. Gorbatov, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation
<b>Arif Nur Muhammad Ansori</b>	Doctor, Doctor in Veterinary Sciences, Researcher, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia
<b>Oleg L. Akhremchik</b>	Doctor of Science (Engineering), Professor, Tver State Technical University, Tver, Russian Federation
<b>Ivan V. Baskakov</b>	Doctor of Science (Agriculture), Professor, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russian Federation
<b>Vitaliy K. Bitjukov</b>	Doctor of Science (Engineering), Professor, Honored Science Worker of the Russian Federation, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russian Federation
<b>Oleg K. Borontov</b>	Doctor of Science (Agriculture), Leading Researcher, A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar, Voronezh, Russian Federation
<b>Murat S. Gins</b>	Doctor of Science (Biology), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Federal Research Centre for Vegetable Growing, Moscow Region, Russian Federation
<b>Ivan F. Gorlov</b>	Doctor of Science (Agriculture), Academician of the Russian Academy of Sciences, Povolzhskiy Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products, Volgograd, Russian Federation
<b>Vladimir A. Gudkovskiy</b>	Doctor of Science (Agriculture), Academician of the Russian Academy of Sciences, Federal Research Centre named after I.V. Michurin, Michurinsk, Russian Federation
<b>Viktor F. Dobrovoilskiy</b>	Doctor of Science (Engineering), Research Institute of Food Concentrates Industry and Special Food Technology - branch of the Federal Research Centre for Nutrition and Biotechnology, Moscow, Russian Federation
<b>Irina M. Donnik</b>	Doctor of Science (Biology), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, National Research Institute “Kurchatov Institut”, Moscow, Russian Federation
<b>Irina A. Ilina</b>	Doctor of Science (Engineering), North Caucasian Federal Research Centre of Horticulture, Viticulture, Winemaking, Krasnodar, Russian Federation
<b>Elena A. Kalashnikova</b>	Doctor of Science (Biology), Professor, Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russian Federation
<b>Vera M. Kodentsova</b>	Doctor of Science (Biology), Professor, Leading Researcher, Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russian Federation
<b>Mikhail M. Kopus</b>	Doctor of Science (Biology), Leading Researcher, Agrarian Research Centre “Donskoy”, Centre for Fundamental Scientific Research, Zernograd, Russian Federation
<b>Igor A. Korotkiy</b>	Doctor of Science (Engineering), Professor, Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation
<b>Anatoliy P. Kosovan</b>	Doctor of Science (Economics), Academician of the Russian Academy of Sciences, State Research Institute of Baking Industry, Moscow, Russian Federation
<b>Olga N. Krasulya</b>	Doctor of Science (Engineering), Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russian Federation
<b>Nadezhda G. Kulneva</b>	Doctor of Science (Engineering), Professor, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russian Federation
<b>Alexander G. Levshin</b>	Doctor of Science (Engineering), Professor, Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russian Federation

<b>Aleksander N. Lisitsyn</b>	Doctor of Science (Engineering), All-Russian Research Institute of Fats, St. Petersburg, Russian Federation
<b>Andrey B. Lisitsyn</b>	Doctor of Science (Engineering), Academician of the Russian Academy of Sciences, Federal Research Centre of Food Systems named after V.M. Gorbатов of the Russian Academy of Science, Moscow, Russian Federation
<b>Elena P. Meleshkina</b>	Doctor of Science (Engineering), All-Russian Research Institute of Grain and Products of Its Processing – branch of the Federal Research Centre of Food Systems named after V.M. Gorbатов, Russian Academy of Science, Moscow, Russian Federation
<b>Eugeniy N. Neverov</b>	Doctor of Science (Engineering), professor, Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation
<b>Dmitry B. Nikityuk</b>	Doctor of Medicine, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Federal Research Centre for Nutrition and Biotechnology, Moscow, Russian Federation
<b>Aleksey L. Nikiforov-Nikishin</b>	Doctor of Science (Biology), Professor, Razumovsky Moscow State University of Food Production, Russian Federation
<b>Lev A. Oganesyants</b>	Doctor of Science (Engineering), Academician of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industries – branch of the Federal Research Centre of Food Systems named after V.M. Gorbатов, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation
<b>Viktor N. Ozherelev</b>	Doctor of Science (Agriculture), Professor of Bryansk State Agricultural University, Bryansk, Russian Federation
<b>Vladimir I. Orbinsky</b>	Doctor of Science (Agriculture), Professor, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russian Federation
<b>Elena N. Pasyunkova</b>	Doctor of Science (Biology), Federal Research Centre for Potato named after A.I. A.G. Lorkha, branch of the Leningrad Research Institute of Agriculture «Belogork», St. Petersburg, Russian Federation
<b>Viktor A. Panfilov</b>	Doctor of Science (Engineering), Academician of the Russian Academy of Sciences, Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russian Federation
<b>Andrey N. Petrov</b>	Doctor of Science (Engineering), Academician of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Research Institute of Technology Canning – branch of the Federal Research Centre of Food Systems named after V.M. Gorbatova, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation
<b>Olga A. Podvigina</b>	Doctor of Science (Agriculture), Leading Researcher, A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar, Voronezh, Russian Federation
<b>Toshpulot F. Rajabov</b>	PhD, Sharof Rashidov Samarkand State University, Samarkand, Uzbekistan
<b>Olga V. Savina</b>	Doctor of Science (Agriculture), Professor, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russian Federation
<b>Ashot S. Saghyan</b>	Academician, Doctor of Chemistry, Professor, National Academy of Sciences, Republic of Armenia
<b>Sergey V. Simonenko</b>	Doctor of Science (Engineering), Research Institute of Baby Nutrition – branch of the Federal Research Centre for Nutrition and Biotechnology, Istra, Russian Federation
<b>Olga I. Stognienko</b>	Doctor of Science (Biology), Leading Researcher, A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar, Voronezh, Russian Federation
<b>Evgeny I. Titov</b>	Doctor of Science (Engineering), Academician of the Russian Academy of Sciences, Russian Biotechnological University, Moscow, Russia Russian Federation
<b>Natalia A. Tikhomirova</b>	Doctor of Science (Engineering), Professor, Russian Biotechnological University, Moscow, Russian Federation
<b>Vyacheslav I. Tuzhilkin</b>	Doctor of Science (Engineering), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Russian Biotechnological University, Moscow, Russian Federation
<b>Victor A. Tutelyan</b>	Doctor of Medicine, Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Federal Research Centre for Nutrition and Biotechnology, Moscow, Russian Federation
<b>Natasa Poklar Ulrih</b>	PhD, Professor of Biochemistry, University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenia
<b>Boris V. Usha</b>	Doctor of Science (Veterinary), Academician of the Russian Academy of Sciences, Russian Biotechnological University, Moscow, Russian Federation
<b>Andrey G. Khramtsov</b>	Doctor of Science (Engineering), Academician of the Russian Academy of Sciences, North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russian Federation
<b>Azret U. Shingisov</b>	Doctor of Engineering, Professor, ), Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, Auezov University, Shymkent, Kazakhstan

# СОДЕРЖАНИЕ

## ОТ РЕДАКТОРА

**Е. В. Тихонова**

Стратегии конструктивного взаимодействия с рецензентами: от рукописи к успешной публикации . . . . . 8

## ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ СЕЛЬХОЗПРОДУКЦИИ

**А. Н. Веревкин, А. Н. Иванкин**

Корректировка липидного статуса животного сырья . . . . . 18

**А. Х.-Х. Нугманов, И. А. Бакин, А. С. Мустафина, П. Н. Шаповалова**

Исследование технологических методов экстракции инулина из корней обыкновенного цикория (*Cichorium intybus L.*) . . . . . 33

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ И ПРОДУКЦИИ АПК

**Л. И. Розина, В. А. Трофимченко**

Влияние природы сахаросодержащих продуктов на процесс вторичного брожения. . . . . 45

## КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ПРОДУКЦИИ АПК

**Ш. А. Шамилов, Н. В. Заворохина, О. В. Чугунова**

Анализ причин возникновения дефектов шоколадных конфет при хранении и разработка технологических приемов по их устранению . . . . . 55

**С. А. Рылов, И. В. Кротов, М. М. Благовещенская, В. Г. Благовещенский, И. Г. Благовещенский, А. Е. Яблоков**

Концепция разработки ротационных вискозиметров на базе технологий промышленного интернета вещей. . . . . 70

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ РЕСУРСОВ И НОВЫХ ВИДОВ СЫРЬЯ

**О. В. Беспалова, А. Ю. Соколов, А. А. Гажур**

Разработка технологических решений для углубленной переработки мясокостных отходов на мясоперерабатывающих предприятиях. . . . . 84

**М. А. Ахметзянова, А. В. Маслов, З. Ш. Мингалеева**

Влияние корня одуванчика лекарственного на водопоглощение, реологические свойства теста и качество хлеба . . . . . 105

**П. Б. Ситникова, А. А. Творогова**

Обоснование композиции цитрусовых волокон и гуаровой камеди для стабилизации структуры замороженных десертов . . . . . 119

**А. Ю. Шариков, Е. Н. Соколова, В. В. Ионов, М. В. Амелякина, Е. М. Серба**

Разработка экструдированных продуктов с добавлением гидролизатов жмыха брусники и дрожжевой биомассы . . . . . 133

# CONTENT

## EDITORIAL

**Elena V. Tikhonova**

Constructive Strategies for Working with Reviewers: From Manuscript to Successful Publication . . . . . 9

## PHYSICAL AND CHEMICAL METHODS OF FARM RAW MATERIAL PROCESSING

**Alexey N. Verevkin, Andrey N. Ivankin**

Adjustment of the Lipid Status of Animal Raw Materials. . . . . 19

**Albert Kh.-Kh. Nugmanov, Igor A. Bakin, Anna S. Mustafina, Polina N. Shapovalova**

Research on Technological Methods for Extracting Inulin from Common Chicory Roots  
(*Cichorium Intybus L.*) . . . . . 34

## RESEARCH ON TRAITS OF SUBSTANCES AND AGRIBUSINESS PRODUCTS

**Larisa I. Rozina, Vladimir A. Trofimchenko**

Influence of the Nature of Sugar-Containing Products on the Secondary Fermentation Process . . . . . 46

## CONTROL OVER QUALITY AND SAFETY OF AGRIBUSINESS PRODUCTS

**Shamil A. Shamilov, Natalia V. Zavorokhina, Olga V. Chugunova**

Analysis of the Causes of Defects of Chocolate Candies during Storage and Development of Technological Methods  
for their Elimination. . . . . 56

**Sergey A. Rylov, Igor V. Krotov, Margarita M. Blagoveshchenskaya, Vladislav G. Blagoveshchensky,  
Ivan G. Blagoveshchensky, Alexander E. Yablokov**

The Concept of Developing Rotational Viscometers Based on Industrial Internet of Things Technologies . . . . . 71

## USING SECONDARY RESOURCES AND NEW TYPES OF RAW MATERIALS

**Olga V. Bupalova, Alexander Yu. Sokolov, Alexander A. Gazhur**

The Development of Technological Solutions for In-Depth Processing of Meat and Bone Waste  
at Meat Processing Enterprises . . . . . 85

**Maria A. Akhmetzyanova, Alexander V. Maslov, Zamira Sh. Mingaleeva**

Effect of Common Dandelion Root on Water Absorption, Rheological Properties of Dough, and Bread Quality . . . . . 106

**Polina B. Sitnikova, Antonina A. Tvorogova**

Rationale for the Composition of Citrus Fibers and Guar Gum for Stabilizing the Structure of Frozen  
Desserts . . . . . 120

**Anton Yu. Sharikov, Elena N. Sokolova, Vladislav V. Ionov, Maria V. Amelyakina, Elena M. Serba**

The Development of Composite Extruded Products with Hydrolysates of Lingonberry Pomace  
and Yeast Biomass . . . . . 134

# Стратегии конструктивного взаимодействия с рецензентами: от рукописи к успешной публикации

МГИМО Университет,  
г. Москва, Российская Федерация

Е. В. Тихонова

## КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Елена Викторовна Тихонова  
E-mail: [tikhonova\\_ev@pfur.ru](mailto:tikhonova_ev@pfur.ru)

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Тихонова, Е.В. (2024). Стратегии конструктивного взаимодействия с рецензентами: от рукописи к успешной публикации. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(4), 8–17.  
<https://doi.org/10.36107/spfp.2024.4.622>

ПОСТУПИЛА: 03.10.2024

ДОРАБОТАНА: 16.11.2024

ПРИНЯТА: 15.12.2024

ОПУБЛИКОВАНА: 27.12.2024

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.



## АННОТАЦИЯ

**Введение:** Научное рецензирование – ключевой этап в процессе публикации академических статей, который обеспечивает качество и достоверность представленных данных. Однако для авторов этап взаимодействия с рецензентами часто становится сложным вызовом, требующим не только профессиональных знаний, но и умения конструктивно реагировать на критику. Грамотные ответы на замечания рецензентов могут существенно повысить шансы статьи на принятие и успешную публикацию.

**Цель:** Статья направлена на предоставление комплексного руководства для авторов научных публикаций по работе с отзывами рецензентов. Основное внимание уделено стратегиям эффективного взаимодействия с рецензентами, рекомендациям по написанию убедительных ответов и управлению процессом пересмотра и повторной подачи статьи.

**Основное содержание:** В статье подробно рассматриваются этапы подготовки ответов на замечания рецензентов, включая анализ комментариев, структурирование ответов и использование уважительного тона. Описаны типичные ошибки, которые авторы допускают при ответе, такие как игнорирование важных замечаний или недостаточная аргументация предложенных изменений. Приведены примеры формулировок, позволяющих эффективно разьяснить свою позицию или согласиться с предложениями рецензентов. Дополнительно рассмотрены стратегии работы с неоднозначными или противоречивыми комментариями. Представлены советы по улучшению качества научной работы на основании отзывов, включая рекомендации по доработке текста, структурным изменениям и усилению аргументации.

**Заключение:** Работа с отзывами рецензентов – это не просто формальный процесс, а важный этап научной коммуникации, который способствует улучшению качества исследований. Освоение искусства написания убедительных и конструктивных ответов позволяет не только повысить вероятность принятия статьи, но и укрепить позиции автора в академическом сообществе. Представленные в статье рекомендации помогут авторам уверенно справляться с замечаниями рецензентов и эффективно продвигать свои научные исследования к публикации.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

научное рецензирование; ответы рецензентам; научная коммуникация; повышение качества исследований; рекомендации для авторов

# Constructive Strategies for Working with Reviewers: From Manuscript to Successful Publication

MGIMO University,  
Moscow, Russian Federation

Elena V. Tikhonova

## CORRESPONDENCE:

Elena V. Tikhonova

E-mail: tikhonova\_ev@pfur.ru

## FOR CITATIONS:

Tikhonova, E. (2024). Constructive strategies for working with reviewers: From manuscript to successful publication. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(4), 8–17. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.4.622>

RECEIVED: 03.10.2024

REVISED: 16.11.2024

ACCEPTED: 15.12.2024

PUBLISHED: 27.12.2024

## DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



## ABSTRACT

**Introduction:** Peer review is a critical stage in the process of publishing academic articles, ensuring the quality and reliability of submitted data. However, for authors, interacting with reviewers often becomes a challenging task requiring not only professional expertise but also the ability to respond constructively to criticism. Skillful responses to reviewers' comments can significantly increase the chances of the article for its acceptance and successful publication.

**Purpose:** This article aims to provide a comprehensive guide for authors of scientific publications on handling reviewer feedback. It focuses on strategies for effective interaction with reviewers, recommendations for writing persuasive responses, and managing the process of revising and resubmitting an article.

**Main Content:** The article thoroughly examines the steps involved in preparing responses to reviewers' comments, including analyzing feedback, structuring replies, and using a respectful tone. It discusses common mistakes that authors make when responding, such as overlooking critical comments or providing insufficient justification for proposed changes. Examples of phrasing are provided to help authors effectively clarify their position or agree with reviewers' suggestions. Additionally, strategies for addressing ambiguous or conflicting comments are explored. Practical advice on improving the quality of scientific work based on reviews is presented, including recommendations for revising the text, making structural changes, and strengthening arguments.

**Conclusion:** Responding to reviewer feedback is not merely a formal process but an essential aspect of scientific communication that enhances research quality. Mastering the art of crafting persuasive and constructive responses not only increases the likelihood of article acceptance but also strengthens the author's standing within the academic community. The recommendations presented in this article can help authors confidently address reviewer comments and effectively advance their scientific research toward publication.

## KEYWORDS

peer review; responding to reviewers; scientific communication; improving research quality; author guidelines

## ВВЕДЕНИЕ

Институт рецензирования является одним из ключевых столпов академической коммуникации, направленным на повышение качества и достоверности публикуемых исследований (Clark et al., 2023; Tikhonova & Raitskaya, 2021; Nahata & Sorkin, 2019). Авторы, направляя свою рукопись в журнал, должен понимать устоявшиеся конвенции научного сообщества, согласно которым эксперты (рецензенты) и редакторы журнала детально анализируют текст и выносят суждения о его ценности и научном вкладе (Sundström, 2023). Процедура рецензирования не всегда протекает гладко: помимо конструктивной критики авторы могут столкнуться с резкими замечаниями, значительными требованиями к переработке методологии исследования и структуры рукописи или даже упреками в недобросовестности. В результате часть авторов, к сожалению, выбирает неэтичные пути взаимодействия с рецензентами и редакцией, игнорируя полученные рекомендации. Подобный подход влияет не только репутацию авторов, но и на политику научного журнала, стремящегося поддерживать высокие стандарты публикаций (Watson, 2020).

Качество статей напрямую связано с тем, насколько полно авторы реагируют на комментарии рецензентов (Clark et al., 2023; Noble, 2017; Pickler, 2019; Косычева, 2021). На этапе «revise and resubmit» авторы получают шанс не только исправить выявленные недочеты, но и улучшить ясность, глубину и логичность своей работы. При этом важно учитывать, что редакторы и рецензенты не просто «выискивают» ошибки — их задача состоит в том, чтобы помочь авторам выпустить статью, максимально соответствующую научным и методологическим стандартам (Nahata & Sorkin 2019). Несмотря на это, не все исследователи воспринимают критику как способ совершенствования рукописи. Известны кейсы, когда авторы либо избирательно отвечают на замечания, либо занимают «фиктивной» доработкой, а иногда и вовсе игнорируют часть комментариев (Sundström, 2023).

Примером неэтичного поведения является ситуация, когда авторы открыто заявляют, что ответили только на те комментарии рецензентов, которые, по их мнению, заслуживают внимания, тем самым сознательно «отсекая» критику, которая кажется им

неуместной или «неважной». Рецензенты же, указывая на слабые места исследования, рассчитывают получить либо аргументированное согласие, либо столь же аргументированное несогласие со стороны авторского коллектива (Guyatt & Haynes, 2006). Полное игнорирование или поверхностные отписки без фактического устранения замечаний разрушают принципы научного диалога и могут расцениваться как нарушение этики. Ещё более серьёзным вариантом такого поведения становится умышленное искажение данных или «замалчивание» отрицательных результатов, что в долгосрочной перспективе подрывает доверие к науке (Watson, 2020).

Этика взаимодействия с рецензентами неразрывно связана и с политикой научных журналов (Tikhonova & Raitskaya, 2021). Большинство авторитетных научных журналов требуют от авторов подробного ответа на каждое замечание и комментариев рецензентов и могут отклонить статью, если посчитают, что существенные комментарии попросту проигнорированы<sup>1</sup>. Некоторые журналы прямо указывают в соответствующей политике, что повторная подача рукописи (resubmission) должна сопровождаться четкой и прозрачной таблицей в формате «комментарий рецензента — ответ автора — страница/строка в тексте», в которой видно, какие изменения были внесены (Clark et al., 2023; Noble, 2017). Неисполнение этих требований приводит к задержкам в рассмотрении рукописи, дополнительной работе для рецензентов и редакции и в конечном итоге снижает уважение к автору.

С другой стороны, существует множество примеров успешной практики, когда авторы, даже не соглашаясь с некоторыми замечаниями, тем не менее обоснованно объясняют свою позицию, приводят дополнительные данные или логику исследования и тем самым укрепляют доверие к своей статье (Morse, 1996; Sundström, 2023). Такой конструктивный формат повышает шанс на положительный ответ журнала о публикации рукописи, так как редакция и рецензенты видят стремление авторов к объективному диалогу и желанию улучшить конечный результат (Nahata & Sorkin, 2019).

Процесс рецензирования не сводится только к механическому исправлению ошибок: он оказывает решающее влияние на научную ценность исследо-

<sup>1</sup> Политики журнала Journal of Language and Education. <https://jle.hse.ru/epol>

вания, поддерживает репутацию авторов и существенно влияет на стратегию и политику научных журналов, стремящихся публиковать высококачественные статьи (Pickler, 2019; Watson, 2020; Shaw, 2012). Цель данной статьи — показать важность этического подхода к взаимодействию с рецензентами, продемонстрировать потенциальные негативные последствия игнорирования критики, а также описать практики, позволяющие авторам превратить процесс доработки рукописи в эффективный инструмент роста и укрепления научного знания.

## ЗНАЧЕНИЕ РЕЦЕНЗИРОВАНИЯ И ОТВЕТОВ НА ЗАМЕЧАНИЯ

Практика рецензирования призвана улучшать качество научных публикаций (Watson 2020). Рецензенты, как правило, добровольно тратят время на детальный анализ рукописи, внося вклад в её улучшение (Nahata & Sorkin, 2019). При этом авторы должны понимать, что критика — это проявление стремления к совершенствованию рукописи, а не атака на личность автора (Sundström 2023).

### *Роль эмоционального фактора*

Многие авторы переживают эмоциональный дискомфорт после получения отзывов, особенно если замечания обширны и указывают на принципиальные недочеты (Silvia 2019). Рекомендуется взять короткий «тайм-аут» (несколько дней или часов) чтобы снизить эффект эмоциональной реакции и взглянуть на комментарии с более спокойной позиции (Morse 1996; Sundström 2023). Переход от защитной реакции к конструктивному восприятию позволяет авторам увидеть истинную ценность отзывов (Pickler, 2019).

### *Оценка вердикта редакции и приоритетность правок*

Редакционное решение обычно сопровождается письмом с кратким резюме замечаний. Этот «голос» редактора имеет ключевое значение, так как именно редактор отвечает за итоговое решение о принятии статьи (Franceschet et al., 2023). Авторам следует внимательно изучить, какие направления доработки редактор считает наиболее важными. Если замечания рецензентов кажутся противоречивыми, рекомендуется обратиться к редактору журнала за уточнениями (Linton 2019; Sundström 2023).

## Подход к формированию ответов

### *Структура ответа (Response Letter)*

Большинство журналов запрашивают отдельный документ, где авторы постатейно указывают, как именно они учли замечания рецензента, и где конкретно в тексте были внесены изменения (Noble 2017; Clark et al., 2023). Оптимальная структура обычно включает:

- (1) Короткое вступление — благодарность рецензентам и редактору.
- (2) Ответ на общий комментарий редактора — как именно авторы учли основные замечания.
- (3) Постатейный ответ на каждый комментарий — в формате «Комментарий рецензента — Ответ автора — Место в рукописи».
- (4) Заключительная часть — выражение надежды, что внесенные изменения сделали работу сильнее.

Существуют разные стили представления комментариев: от полного «копирования» каждого замечания до более краткого пересказа с акцентом на сути правки (Guyatt & Haynes, 2006). Выбор зависит от предпочтений авторов и требований журнала, но принципиально важно отвечать на все без исключения пункты (Linton, 2019).

### **Практические приемы формулирования ответов**

- (1) Точный указатель на изменения. Рекомендуется указывать страницу и строку, чтобы рецензент мог быстро найти внесенную правку (Clark et al., 2023; Sundström, 2023).
- (2) Доказательная база. Если авторы не согласны с замечанием, нужно дипломатично, но чётко пояснить причину несогласия (Robbins et al., 2016). Ссылки на литературу и логику исследования помогают обосновать позицию.
- (3) Избегание эмоциональных формулировок. Даже если замечание кажется «обидным» или неточным, важно сохранять профессиональный тон (Noble, 2017). В случае недопустимого языка со стороны рецензента (редко, но бывает) корректнее всего обратиться к редактору (Sundström, 2023).

### **Компромисс vs. отстаивание своего видения**

Исследовательские группы нередко сталкиваются с просьбами о доработке, которые, на взгляд авторов, несовместимы с их подходом (Косычева, 2021). В отдельных случаях вполне оправдано принять рекомендации рецензентов, отслеживая целостность проведенного исследования (Guyatt & Haynes, 2006). В других случаях — аргументировать, почему изменения не вносятся (Robbins et al., 2016). Основной акцент в том, чтобы продемонстрировать рецензентам (и редакторам), что авторы внимательно рассмотрели замечания и сознательно выбрали иной путь (Sundström 2023).

## **УКРЕПЛЕНИЕ НАУЧНОЙ ЦЕННОСТИ РУКОПИСИ**

Процесс рецензирования и ответов на замечания рецензентов — это не просто формальная стадия пути к публикации, но и реальный шанс углубить научное содержание статьи (Silvia, 2019). Как показывают исследования, конструктивное взаимодействие с рецензентами приводит к более качественному, детально проработанному тексту, что прямо влияет на научную репутацию автора и расширяет пользу, которую работа может принести всему исследовательскому сообществу (Watson, 2020; Nahata & Sorkin, 2019; Kosycheva, 2021).

### **Глубокий анализ гипотез, методов и результатов**

Прежде всего, диалог с рецензентами побуждает авторов повторно «посмотреть в лицо» своим гипотезам и методам: уточнять, действительно ли предложенный теоретический или эмпирический подход оптимален, нет ли альтернативных интерпретаций, способных обогатить результаты (Silvia, 2019). Анализируя каждое замечание, исследователь получает дополнительный стимул перепроверить логику аргументации, в том числе последовательность изложения гипотез и их связь с реальными данными.

### **Пересмотр актуальности отсылок к источникам**

Одним из наиболее частых замечаний рецензентов становится указание на необходимость обно-

вить и расширить литературную базу (Clark et al., 2023). В ходе пересмотра авторы могут обнаружить, что часть используемых статей утратила актуальность или их ключевые выводы были уточнены в более поздних исследованиях. Привлечение свежих релевантных источников не только укрепляет связь работы с современными научными дискуссиями, но и помогает точнее обосновать применяемые методы и сформулировать более глубокие выводы (Calcagno et al., 2012). Таким образом, корректировка списка литературы способствует тому, чтобы рукопись оставалась «на волне» текущих трендов в соответствующей области знаний.

### **Уточнение методологических деталей**

Методологические разделы нередко содержат пробелы или неясности, которые становятся очевидны лишь после внимательного чтения рецензентов (Тихонова & Раицкая, 2021). Когда автор получает замечания, связанные с воспроизводимостью или недостаточной прозрачностью методики, ему предоставляется возможность детализировать экспериментальный дизайн, внести ясность в логику отбора данных либо прояснить критерии статистического анализа. Такая доработка позволяет читателям глубже понять суть исследования и впоследствии легче воспроизводить результаты. В итоге статья приобретает большую убедительность и вес в научном сообществе.

### **Признание ограничений исследования**

Нередко рецензенты обращают внимание на аспекты, которые авторы не могут изменить «задним числом» — например, величину выборки, особенности измерительных инструментов или масштаб собранных данных (Clark & Dunbar, 2003). Если эти факторы действительно трудно или невозможно исправить, важно честно признать их как потенциальные ограничения. Подобная откровенность, с одной стороны, защищает исследователя от обвинений в сокрытии слабых мест, а с другой — показывает, что он корректно оценивает рамки применимости полученных результатов. Более того, указание на ограничения стимулирует будущие исследования к проверке или расширению показателей, не охваченных в текущей работе.

### **Рост репутации автора и влияние на качество науки**

Эффект от добросовестного диалога с рецензентами выходит далеко за пределы отдельно взятой рукописи. По данным Watson (2020), авторы, проявляющие готовность к доработкам и тщательной аргументации, получают в дальнейшем более высокий уровень доверия как со стороны редакций, так и коллег. Подобное отношение становится особенно важным в контексте глобального роста числа научных публикаций и ужесточения конкуренции за место на страницах престижных журналов (Kosycheva, 2021).

И наоборот, игнорирование или поверхностное «отбывание номера» при ответах на комментарии способно повлечь серьезные репутационные потери. Научное сообщество все чаще акцентирует внимание на прозрачности, воспроизводимости и «открытости» данных, а потому неготовность авторов дорабатывать статью снижает уровень доверия к их выводам (Nahata & Sorkin, 2019). Со временем это может сказаться на цитируемости и восприятии будущих работ того же автора.

### **Синергия улучшений**

Нельзя забывать и о положительной «синергии»: тщательно проработав комментарии к одной рукописи, исследователи получают бесценный опыт, который они переносят на будущие публикации (Clark et al., 2023). Зная, что рецензенты могут обратить особое внимание на те или иные аспекты (методологические детали, структуру текста, актуальность литературы), авторы заранее принимают меры для обеспечения максимальной прозрачности исследования. Подобный подход формирует культуру постоянного самосовершенствования и способствует укреплению этических и методических стандартов в академической среде.

Таким образом, процесс рецензирования и последующей доработки — если к нему относиться как к средству систематического улучшения рукописи и профессионального роста — оказывает комплексное влияние на качество научных работ, их актуальность и авторитет автора в научном сообществе. Каждый комментарий или критика — это точка роста, которая дает возможность автору продемонстрировать свою готовность к конструктивному диалогу и укрепить научную ценность исследования.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Процесс рецензирования и ответы на замечания рецензентов играют гораздо более важную роль, чем простой «пропускной пункт» на пути к публикации. Конструктивное взаимодействие с критикой не только повышает научную значимость статьи за счёт более точного обоснования гипотез, корректного описания методологии и обновленной литературной базы, но и укрепляет репутацию автора в глазах научного сообщества. Напротив, поверхностное «реагирование» при учете замечаний, выборочный ответ лишь на «интересные / удобные» комментарии или игнорирование ключевых вопросов со стороны рецензентов нарушают этические нормы научной коммуникации и могут привести к снижению доверия к результатам исследования и к дальнейшим работам данного автора.

Редакции и рецензенты в своей основе стремятся помочь исследователям раскрыть потенциал проводимого исследования, поэтому понимание их мотивации и уважение к их труду играет решающую роль в повышении качества финальной рукописи. Более того, опыт тщательной проработки замечаний служит фундаментом для совершенствования последующих публикаций, способствуя формированию культуры ответственного и открытого научного общения. Именно поэтому ответственное отношение к рецензированию и готовность к аргументированному диалогу оказываются одними из важнейших факторов не только успеха конкретной статьи, но и устойчивого развития всей научной области.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Косычева, М.А. (2021). Рецензирование как инструмент научной коммуникации. *Health, Food & Biotechnology*, 3(1), 7-12. <https://doi.org/10.36107/hfb.2021.i1.s102>
- Kosycheva, M.A. (2021). Peer review as a tool of scientific communication. *Health, Food & Biotechnology*, 3(1), 7-12. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/hfb.2021.i1.s102>
- Тихонова, Е.В., & Раицкая, Л.К. (2021). Рецензирование как инструмент обеспечения эффективной научной коммуникации: традиции и инновации. *Научный редактор и издатель*, 6(1), 6-17. <https://doi.org/10.24069/2542-0267-2021-1-6-17>
- Tikhonova, E.V., & Raitskaia, L.K. (2021). Peer review as a tool for ensuring effective scientific communication: Traditions and innovations. *Scientific Editor and Publisher*, 6(1), 6-17. (In Russ.) <https://doi.org/10.24069/2542-0267-2021-1-6-17>
- Calcagno, V., Demoinet, E., Gollner, K., Guidi, L., Ruths, D., & de Mazancourt, C. (2012). Flows of research manuscripts among scientific journals reveal hidden submission patterns. *Science*, 338(6110), 1065–1069. <https://doi.org/10.1126/science.1227833>
- Clark, P. C., & Dunbar, S. B. (2003). Preliminary reliability and validity of a Family Care Climate questionnaire for heart failure. *Families, Systems, & Health*, 21(3), 281–291.
- Clark, P. C., Spratling, R., Aycocock, D. M., & Marcus, J. (2023). The real secret to getting published: Responding to reviewers. *Journal of Pediatric Health Care*, 37(5), 570–574. <https://doi.org/10.1016/j.pedhc.2023.06.001>
- Franceschet, S., Krook, M. L., & Wolbrecht, C. (2023). Submitting to *Politics & Gender*: Advice from the editors. *Politics & Gender*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1017/S1743923X23000193>
- Guyatt, G. H., & Haynes, R. B. (2006). Preparing reports for publication and responding to reviewers' comments. *Journal of Clinical Epidemiology*, 59(9), 900–906. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2006.05.004>
- Linton, J. D. (2019). Responding to reviewers. *Technovation*, 86–87, 1–2. <https://doi.org/10.1016/j.technovation.2019.06.002>
- Morse, J. M. (1996). Revise and resubmit: Responding to reviewers' reports. *Qualitative Health Research*, 6(2), 149–151. <https://doi.org/10.1177/104973239600600201>
- Nahata, M. C., & Sorkin, E. M. (2019). Responding to manuscript reviewer and editor comments. *Annals of Pharmacotherapy*, 53(9), 959–961. <http://dx.doi.org/10.1177/1060028019849941>
- Noble, W. S. (2017). Ten simple rules for writing a response to reviewers. *PLoS Computational Biology*, 13(10), e1005730. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1005730>
- Pickler, R. H. (2019). Evaluation of science through peer review. *Nursing Research*, 68(4), 255–256. <https://doi.org/10.1097/nnr.0000000000000365>
- Robbins, S. P., Fogel, S. J., McLaughlin, H., Pomeroy, E. C., Busch-Armendariz, N., & Staller, K. M. (2016). From the editor - Publish, don't perish! Strategies for getting published in peer-reviewed journals. *Journal of Social Work Education*, 52(3), 251–257. <https://doi.org/10.1080/10437797.2016.1182399>
- Shaw, J. D. (2012). Responding to reviewers. *Academy of Management Journal*, 55(6), 1261–1263. <http://dx.doi.org/10.5465/amj.2012.4006>
- Silvia, P. J. (2019). *How to write a lot: A practical guide to productive academic writing* (2nd ed.). American Psychological Association.
- Sundström, A. (2023). Responding to reviewers: Guidelines and advice. *Politics & Gender*, 19(2), 630–635. <https://doi.org/10.1017/S1743923X23000168>
- Tikhonova, E., & Raitskaya, L. (2021). Improving Submissions to scholarly journals via peer review. *Journal of Language and Education*, 7(2), 5-9. <https://doi.org/10.17323/jle.2021.12686>
- Watson, R. (2020). The contribution of peer review to scholarly publishing. *Nurse Author & Editor*, 30(2), 1–5. <https://doi.org/10.1111/j.1750-4910.2020.tb00055.x>

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### Шаблон ответа авторам на комментарии рецензентов

Уважаемый(ая) ФИО или должность редактора,

Благодарим Вас и рецензентов за уделённое время и детальный анализ нашей рукописи «Название статьи», представленной в журнал «Хранение и переработка сельхозсырья». Мы ценим возможность доработать статью и старались учесть все замечания и предложения, направленные на повышение ее научной и практической значимости.

Ниже мы приводим ответы на комментарии рецензентов. Все изменения в тексте статьи выделены (например, с помощью функции «Отслеживание изменений» в Microsoft Word) и/или дополнительно отмечены в скобках по тексту.

#### (1) Общая характеристика внесенных изменений

1. Мы уделили особое внимание корректировке разделов, связанных с методикой и результатами эксперимента, чтобы обеспечить более четкое описание примененных методов и интерпретацию полученных данных.
2. Обновили список литературы, добавив более свежие источники, в особенности те, на которые указывали рецензенты.
3. Уточнили формулировки в тексте, чтобы устранить двусмысленность и повысить читабельность рукописи.
4. Указали дополнительные ограничения исследования и перспективы дальнейших работ в Заключение, исходя из рекомендаций рецензентов.

Ниже мы представляем ответы на все комментарии, указанные в рецензиях. Нумерация комментариев соответствует нумерации, приведенной рецензентами (или отражающей их логику).

#### (2) Ответы на замечания Рецензента 1

##### Комментарий 1 (пример):

«Текст комментария рецензента»

**Ответ:** Спасибо за детальный анализ. Мы согласны, что необходимо уточнить характеристики сырья и условия хранения. В разделе «Материалы и методы» (стр. 3, строки 10–25) мы добавили описание параметров сырья (влажность, температура, сроки хранения), а также скорректировали схему подготовки проб, чтобы читателям было понятнее, как именно отбирался и анализировался материал.

##### Комментарий 2 (пример):

«Текст комментария рецензента»

**Ответ:** Благодарим за предложение дополнить обзор литературы. Мы добавили новые источники (см. ссылки [5]–[7] в обновленном списке литературы) и внесли соответствующие изменения в подраздел «Обзор литературы» (стр. 2, строки 10–16). В частности, добавили описание последних исследований, связанных с технологией переработки зернового сырья.

### **Комментарий 3 (пример):**

«Текст комментария рецензента»

**Ответ:** Мы признаем, что предыдущая версия текста могла быть не совсем ясной. Теперь в разделе «Результаты и их обсуждение» (стр. 5, строки 5–20) мы уточнили метод статистического анализа данных, включая тип применённых критериев проверки гипотез и уровень значимости. Также добавили пояснение, почему был выбран именно этот статистический подход с учётом особенностей экспериментальных данных.

## **(3) Ответы на замечания Рецензента 2**

### **Комментарий 1 (пример):**

«Текст комментария рецензента»

**Ответ:** Мы дополнили раздел «Заключение» (стр. 7, строки 1–10) упоминанием о возможном практическом применении результатов. В частности, указываем, что предложенная схема переработки может быть масштабирована для промышленного производства при соблюдении ряда критериев безопасности и качества, согласно нормативной базе отрасли.

### **Комментарий 2 (пример):**

«Текст комментария рецензента»

**Ответ:** Рецензент предложил изменить порядок изложения результатов, чтобы сначала описать особенности сырья, а затем переходить к результатам переработки. Мы учли это замечание и переработали логику изложения в разделе «Результаты и их обсуждение» (стр. 4–5): теперь описание характеристик сырья идёт перед анализом изменений при переработке.

### **Комментарий 3 (пример):**

«Текст комментария рецензента»

**Ответ:** Спасибо за сигнал относительно орфографической ошибки. Соответствующая правка внесена на стр. 2, строка 5. Мы также провели дополнительную вычитку текста, чтобы исключить подобные неточности.

## **(4) Заключительные комментарии и благодарность**

Мы надеемся, что внесенные изменения и дополнения сделали нашу работу более точной и информативной. Благодарим редакцию журнала «Хранение и переработка сельхозсырья» и рецензентов за помощь в улучшении рукописи. Если у Вас возникнут дополнительные вопросы или потребуется дополнительная информация, мы будем рады предоставить необходимые пояснения.

Ещё раз выражаем признательность за возможность доработать статью и рассчитываем, что данный вариант рукописи удовлетворяет критериям публикации в вашем журнале.

**С уважением,**

Имена авторов, ученые степени и должности

Наименование организации, контакты

**Примечания к шаблону:**

1. При подготовке окончательного ответа обязательно корректируйте формулировки и номера страниц/строк в соответствии с реальным текстом вашей рукописи с отслеживанием изменений.
2. Структура может варьироваться в зависимости от требований журнала (некоторые издания требуют краткую сводку, другие — максимально детальную).
3. Если комментарии разных рецензентов пересекаются, можно использовать объединенные ответы, чтобы избежать дублирования. Главное — не пропустить ни одного замечания.
4. Не забывайте давать ссылки на новые или исправленные пункты списка литературы, если рецензенты просят добавить или обновить источники.

Этот шаблон призван облегчить вам процесс взаимодействия с редакцией и рецензентами.

# Корректировка липидного статуса животного сырья

Московский государственный технический университет (национальный исследовательский университет) имени Н.Э. Баумана, г. Мытищи, Российская Федерация

А. Н. Веревкин, А. Н. Иванкин

## КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

**Андрей Николаевич Иванкин**  
E-mail: aivankin@inbox.ru

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Иванкин, А. Н., & Веревкин, А. Н. (2024).  
Корректировка липидного статуса животного сырья. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(4), 18-32.  
<https://doi.org/10.36107/spfp.2024.4.539>

**ПОСТУПИЛА:** 10.05.2024

**ДОРАБОТАНА:** 23.11.2024

**ПРИНЯТА:** 16.12.2024

**ОПУБЛИКОВАНА:** 27.12.2024

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

Данная работа финансировалась за счет средств бюджета МГТУ им. Н.Э. Баумана. Никаких дополнительных грантов на проведение или руководство данным исследованием получено не было.



## АННОТАЦИЯ

**Введение:** Липидный состав жирового сырья животного происхождения играет ключевую роль в создании сбалансированных кормов для сельскохозяйственных животных. Однако природные жиры часто не соответствуют требованиям по содержанию жирных кислот, что ограничивает их использование в кормовых композициях. Несмотря на достижения в области биотехнологической переработки жиров, остается недостаточно изученным вопрос применения ферментативных методов для корректировки их липидного состава.

**Цель:** Разработка методологии переэтерификации жирового сырья для получения липидных композиций с измененным жирнокислотным составом, пригодных для использования в рецептурах кормов для сельскохозяйственных животных.

**Материалы и методы:** Объектами исследования выступали жировые отходы мясокомбинатов, нутряной свиной жир и костный жир крупного рогатого скота. Переэтерификация проводилась в присутствии рыбьего жира. Контролировались дисперсность системы и жирнокислотный состав. Методология включала совмещение жировых компонентов с ферментами, их нагревание и механическое или ультразвуковое диспергирование для повышения эффективности переработки.

**Результаты:** Было определено содержание основных жирных кислот в исходном сырье и полупродуктах. Получены эмульсии с размером липидных частиц 0,1–200 мкм. Установлены оптимальные условия ферментативной обработки: концентрация субстрата 300–350 г/л, температура  $60 \pm 2$  °С, pH 5,0; ферментная активность 500 ед/л, термическая активация фермента – 20 мин при 60 °С. Гидролизаты, полученные в ходе исследования, могут быть использованы для улучшения кормовой базы.

**Выводы:** Разработанная методология переработки жирового сырья позволяет эффективно трансформировать как природные жиры, так и отходы мясоперерабатывающих предприятий в высокодисперсную биомассу. Определены оптимальные условия ферментативной обработки, что обеспечивает возможность создания сбалансированных липидных компонентов для производства кормов.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

коррекция липидного состава жирового сырья; переэтерификация жиров; ферментативные методы обработки жиров; жировые отходы мясопереработки; кормовые композиции для сельскохозяйственных животных; жирнокислотный профиль липидных композиций; биотехнологическая переработка жирового сырья; ультразвуковая обработка липидов; ферментативная активность липаз

# Adjustment of the Lipid Status of Animal Raw Materials

Bauman Moscow State Technical University (National Research University), Mitishi, Russian Federation

Alexey N. Verevkin, Andrey N. Ivankin

## CORRESPONDENCE:

**Andrey N. Ivankin**

E-mail: aivankin@inbox.ru

## FOR CITATIONS:

Ivankin, A.N., Verevkin, A.N. (2024). Adjustment of the lipid status of animal raw materials. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(4), 18-32. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.4.539>

**RECEIVED:** 10.05.2024

**REVISED:** 23.11.2024

**ACCEPTED:** 16.12.2024

**PUBLISHED:** 27.12.2024

## DECLARATION OF COMPETING

**INTEREST:** none declared.

## FUNDING

This work was financed by the budget of Bauman Moscow State Technical University. No additional grants were received for conducting or supervising this research.



## ABSTRACT

**Introduction:** The lipid composition of animal-derived fat raw materials plays a pivotal role in formulating balanced feeds for livestock. However, natural fats often fail to meet the required fatty acid profile, limiting their application in feed formulations. Despite advancements in the biotechnological processing of fats, the use of enzymatic methods to modify their lipid composition remains insufficiently explored.

**Purpose:** To develop a methodology for the transesterification of fat raw materials to obtain lipid compositions with a modified fatty acid profile suitable for livestock feed formulations..

**Materials and Methods:** The study focused on fat waste from meat processing plants, namely pork lard and cattle bone fat. Transesterification was performed in the presence of fish oil. The dispersity of the system and fatty acid composition were monitored. The methodology involved combining fat components with enzymes, their heating, and mechanical or ultrasonic dispersion to enhance processing efficiency..

**Results:** The content of major fatty acids in raw materials and intermediate products was determined. Emulsions with lipid particle sizes ranging from 0.1 to 200  $\mu\text{m}$  were obtained. Optimal conditions for enzymatic processing were established: substrate concentration of 300–350 g/L, temperature of  $60 \pm 2$  °C, pH of 5.0; enzyme activity of 500 U/L, and thermal activation of the enzyme for 20 minutes at 60 °C. The resulting hydrolysates are potential products for improving livestock feed bases.

**Conclusion:** The developed methodology for processing fat raw materials enables the efficient transformation of both natural animal fats and difficult-to-process fat waste from meat processing plants into highly dispersed biomass. Optimal conditions for enzymatic processing were determined, ensuring the creation of balanced lipid components for feed production.

## KEYWORDS

adjustment of the lipid composition of fat raw materials; transesterification of fats; enzymatic methods for fat processing; fat waste from meat processing; feed compositions for livestock; fatty acid profile of lipid compositions; biotechnological processing of fat raw materials; ultrasonic treatment of lipids; enzymatic activity of lipases

## ВВЕДЕНИЕ

Значительные объемы жиросодержащих отходов, образующихся на мясокомбинатах, представляют собой проблему, как из-за потенциальной экологической нагрузки, так и из-за их невысокого качества, заключающегося в неблагоприятном жирнокислотном составе для практического использования в пищевых системах. Простая переработка таких отходов традиционно включает возможность получения товарного продукта, путем, как правило, образования относительно сыпучего материала без какой либо корректировки качества составляющих компонентов сырья. Рациональная переработка таких малоценных жировых отходов для повышения их качества требует проведения соответствующих исследований в данной области (Бабурина и соавт., 2015; Verevkin et al., 2022).

Современные мясоперерабатывающие предприятия производят значительные объемы жиросодержащих отходов, которые представляют собой экологическую и технологическую проблему. С одной стороны, эти отходы создают потенциальную нагрузку на окружающую среду из-за своей биологической активности и сложности утилизации (Diaz et al., 2020; Kim & Kim, 2023). С другой стороны, их низкое качество, определяемое неблагоприятным жирнокислотным составом, ограничивает возможности их использования в пищевых системах и сельскохозяйственном производстве (Kashi et al., 2017; Ates et al., 2020). Таким образом, возникает необходимость в разработке эффективных методов переработки жировых отходов с целью повышения их ценности и экологической безопасности.

Жировые компоненты занимают важное место в системе питания человека и животных, определяя энергетическую ценность пищи и качество продукции сельскохозяйственного происхождения (Lu et al., 2021; Short & Hahn, 2023). Качественный состав жиров, включая содержание эссенциальных жирных кислот и соотношение  $\omega 3 : \omega 6$ , оказывает значительное влияние на метаболизм и биологическую активность живых организмов (Nguyen et al., 2023; Zapata et al., 2022).

Введение липидных компонентов с измененным жирнокислотным профилем в кормовые рационы способствует улучшению качества мясной продукции, что особенно важно в условиях глобального

дефицита продовольственных ресурсов (Budak et al., 2023; Xiaoyan et al., 2019). Однако текущие методы переработки жировых отходов не обеспечивают целенаправленного изменения их химического состава, что ограничивает их ценность как сырья (De Caro et al., 2014; Zupancic et al., 2023).

Природное сырье растительного, животного и морского происхождения давно используется в пищевых системах человека, а также при изготовлении животных кормов (Bikker & Jansman, 2023; Shurson et al., 2023). Химический состав такого сырья представлен важнейшими составляющими — белками, жирами и углеводами, содержание которых варьируется в зависимости от источника происхождения и позволяет оценивать или прогнозировать питательную ценность используемого сырья (Bychkova et al., 2023; Land et al., 2017; Yang et al., 2023).

Содержание важных составляющих различается для разных сырьевых источников. Учитывая значительный мировой дефицит пищевого сырья, особенно в развивающихся регионах, возникает проблема не только наличия самого сырья для получения высококачественной пищи, которая должна обеспечивать полноценное существование живого организма, но и возникает проблема обязательного потребления всех необходимых компонентов в наиболее благоприятных соотношениях для питающегося организма. Потребление эссенциальных компонентов во многом определяет понятие «качества» пищи (Budak et al., 2024; Bures et al., 2024; Liang et al., 2023).

Важнейшими веществами пищи являются белки, однако роль жировых компонентов для полноценного питания не менее важна (Lu et al., 2021; Short & Hahn, 2023). Сельскохозяйственное производство направлено на расширение объемов выпуска продукции, включающей все необходимые для полноценного развития составляющие, которые идут на пищевые цели. Практическое решение данной задачи в ходе ее реализации сопровождается образованием значительного количества техногенных отходов, которые ухудшают экологическую ситуацию из-за приверженности к активному воздействию микрофлоры и служат источником заболеваний различной этиологии (Diaz et al., 2020; Kim & Kim, 2023).

Образование отходов представляет собой проблему. При переработке сырья животного происхож-

дения, как одного из наиболее ценного источника пищи, образуются такие органические отходы как мясная обрезь, содержащее желудочно-кишечного тракта животных, кровь и др. Все это в той или иной мере относится к трудно перерабатываемым жиросодержащим отходам (Kashi et al., 2017; McQuilken, 2021).

Липиды содержатся во всех видах природного сырья, включая как животные, так и морские источники (Duan et al., 2023; Liu et al., 2023; Salami et al., 2019). При этом, жировые отходы от переработки липидов создают немало трудностей, связанных с образованием плотных отложений на внутренних стенках производственного оборудования (Kashi et al., 2017; Ates et al., 2020). Образующаяся в отстойниках очистных сооружений биомасса содержит более трети сырого жира, до четверти и более белоксодержащих тканей, а также органические и неорганические примеси различного состава. При убое 1000 голов скота образуется более 10 т жиросодержащей массы отходов (Ates et al., 2020).

Жиросодержащие отходы используются недостаточно эффективно, хотя они могут служить ценным сырьем в сельскохозяйственном производстве. Кормовые рационы сельскохозяйственных животных в значительной степени определяют качество производимого мяса (Gillespie, 2023). Липидные составляющие кормов во многом влияют на процесс его производства. На примере жиров данная зависимость может проявляться наиболее заметно (Ates et al., 2020; Bikker & Jansman, 2023; Huuskonen et al., 2023). Так, при откорме свиней в рецептурах кормов содержатся, как правило, «обычные» жировые компоненты, состав которых более, чем на 70–80% представлен мало полезными жирными кислотами — стеариновой и пальмитиновой, а также мононенасыщенной жирной кислотой — олеиновой (Budak et al., 2023; Tejeda et al., 2023).

Введение в корма липидных компонентов с измененным жирнокислотным составом, в котором увеличена доля значимых для полноценного биологического развития организма полиненасыщенных жирных кислот, позволяет изменять характеристики мяса, получаемого от животных (Бабурина с соавт., 2015; Quaresma et al., 2022; Xiaoyan et al., 2019). Жиры животного происхождения имеют разное качество, в т.ч. находясь в состоянии отходов.

Для описания полезности жира в питательной системе, используют, как правило, соотношение  $\omega 3 : \omega 6$  (Zapata et al., 2022; Ma et al., 2021).

По иной классификации вместо индекса омега ( $\omega$ ), химики применяют индекс  $n$ . В группу семейства  $\omega 6$  входят, прежде всего, линолевая  $C18:2$ ,  $\gamma$ -линоленовая (*цис*-6,9,12-октадекатриен)  $C18:3$ , арахидоновая (*цис*-5,8,14-эйкозатетраеновые)  $C20:4$ . Группа омега 3 включает *альфа*-линоленовую (*цис*-9,12,15-октадекатриен)  $C18:3$ , *цис*-5,8,11,14,17-эйкозапентаеновую  $C20:5$ , а также *цис*-4,8,12,15,21-докозапентаеновую  $C22:5$  и *цис*-4,7,10,13,16,19-докозагексаеновую  $C22:6$  кислоты (Huang et al., 2021).

Показатель  $\omega 3 : \omega 6$  применяется, прежде всего, для описания значимости эссенциальных полиненасыщенных жирных кислот в составе жиров. Данная группа соединений способствует эффективному метаболизму липидов в любом живом организме, что важно, в том числе, для долгой здоровой жизни человека. Этот показатель, по-видимому, играет такую же значимую роль при выращивании животных (Orzuna-Orzuna et al., 2023; Sun et al., 2022).

Установлено, что для описания свойств жиров показатель  $\omega 3 : \omega 6$  в морепродуктах соответствует своему назначению, в то время как у животных жиров доля  $\omega 6$  жирных кислот преобладает над  $\omega 3$  (Katan et al., 2019). Поэтому для животных жиров чаще используется показатель  $\omega 6 : \omega 3$ . Несмотря на необходимость наличия в пищевой системе жиров с жирными кислотами обеих групп, преобладание  $\omega 3$  в жировой ткани рассматривается как более благоприятное состояние. Соотношение  $\omega 6 / \omega 3$  для животных жиров является важным показателем (для морепродуктов обычно используют обратный показатель  $\omega 3 / \omega 6$ , так как это соотношение почти зеркально к объектам животного происхождения). Оптимальное соотношение должно быть, по-видимому, равно 4 : 1, а еще лучше 2,5 : 1, хотя в действительности для животных жиров  $\omega 6 / \omega 3$  превышает соотношение (6...14) : 1 (Nguyen et al., 2023).

Различия в соотношении  $\omega 3 / \omega 6$  позволяют разрабатывать диеты с использованием животных, растительных или морских жиров. Переработка жиросодержащих отходов с отличающимся соотношением жирных кислот путем их последующего усвоения животными позволит целенаправленно получать мясо с измененными характеристиками,

в том числе, путем возможного использования биопроцессов, аналогичных природным (Nguyen et al., 2023; Neklyudov et al., 2008).

Перспективным направлением переработки жиродержащих отходов является использование технических препаратов липаз. Липазы, как природные ферменты класса гидролаз, катализируют расщепление триглицеридов жира до глицерина и свободных жирных кислот. У человека и животных липазы в больших количествах обнаруживаются в тканях, а также в соке поджелудочной железы. Известный препарат панкреатин и его различные аналоги, полученные из поджелудочной железы, содержат активные липазы, трансформирующие липиды в живом организме *in vivo* а также *in vitro* (De Caro et al., 2014; Zupancic et al., 2023).

Липазы представляют собой гетерогенный белок, имеющий небелковый компонент — гликопротеин с относительно низкой молекулярной массой в диапазоне 22–60 кДа, способный к переэтерификации жирных кислот в составе нативных триглицеридов (Mateos et al., 2021). Существует несколько точек зрения на химическую природу небелковой составляющей фермента. Небелковый компонент может иметь липидную природу, при удалении которого липаза потеряет свою активность. Этот компонент необходим для функционирования фермента в гетерогенной среде. Специфичность липолитических ферментов к физическому состоянию субстрата в ряде случаев связана с их супрамолекулярной структурой, однако активность липаз проявляется всегда в условиях, приближенных к физиологическим параметрам живого организма (Fan & Jia, 2023). Поэтому, возникает целесообразность использования данного фермента для переработки жирового сырья.

В научной литературе имеется достаточно много сообщений о гидролитической переработке природного сырья, позволяющей изменять молекулярную массу связанных сырьевых макрокомплексов различной природы. Гидролиз, как процесс расщепления таких составляющих фрагментов, позволяет не только решать проблему биодоступности при питании, но и вводить в пищевой оборот с полноценной усвояемостью трудно ассимилируемые компоненты (Kocabas et al., 2022; Neklyudov et al., 2008; Chantakun et al., 2022).

Одной из перспективных технологий переработки жировых отходов является использование липаз — ферментов, способных катализировать процессы гидролиза и переэтерификации триглицеридов, позволяя изменять жирнокислотный состав липидных комплексов (Mateos et al., 2021; Fan & Jia, 2023). Липазы уже применяются в технических и фармацевтических целях, однако их потенциал для улучшения пищевой ценности жиров остается недостаточно исследованным (Kocabas et al., 2022; Chantakun et al., 2022). В научной литературе отмечается высокая эффективность липаз в процессах переработки природного сырья, однако методология их применения для улучшения качества жировых отходов в контексте кормовых технологий требует дальнейших исследований (Verevkin et al., 2022).

Целью настоящей работы является разработка методологии переработки жирового сырья с использованием липаз для получения липидных композиций с измененным жирнокислотным составом, которые могут быть интегрированы в рецептуры кормов для сельскохозяйственных животных. Данное исследование предполагает комплексный подход к переработке жировых отходов, включающий использование биокатализаторов для их модификации и последующей оценки их влияния на питательные свойства кормов и мясной продукции.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Объекты и материалы

Объектом исследования являлись жировые отходы, образующиеся на Пятигорском мясокомбинате (Россия), а также нутряной свиной и костный жир крупного рогатого скота с массовой долей жира 94%.

Характеристики жирового отхода: плотность при 18 °С, 0,92–0,95 г/см<sup>3</sup>; вязкость при 60 °С, 16–18 мПа·с; температура плавления 45–48 °С; йодное число, 40% I<sub>2</sub>; содержание насыщенных жирных кислот 60...65% от суммы. Жирнокислотный состав исследуемых объектов приведен в Таблице 1.

Для балансирования жирнокислотного состава трансформируемого сырья использовали отходы рыбьего жира из сиговых и лососевых рыб.

В качестве ферментов для гидролитической трансформации использовали сырую липазу, полученную трехкратной экстракцией поджелудочной железы свинины ацетоном (1:1) при 0 °С с последующей сушкой под вакуумом. Перед использованием панкреатической липазы ее суспензию предварительно активировали нагреванием в течение 0,2...1 ч при 50 °С. Использовали также панкреатин с липазной активностью 0,7 ЕД/мг и протеазной активностью 40 ЕД/мг, а также очищенную микробную липазу из *Candida Rugosa* L8525–1MU Sigma, EC 3.1.1.1, с молекулярной массой 52 кДа, липазной активностью 15 ЕД/мг, протеазной активностью < 0,05 ЕД/мг.

## Методы и инструменты

Жировую массу в смеси 1:1 с водой измельчали на миксере и дополнительно подвергали ультразвуковой обработке на установке Branson (США) с частотой 25 кГц и мощностью 200 Вт/л.

Ферментативное превращение жирных кислот осуществляли обработкой смеси 50%-ной водной эмульсии липидов и гексана в соотношении 1:1 в течение 2...8 ч при температуре 40–60 °С в присутствии 1 % липазы от массы жирового компонента. В ходе процесса отбирали пробы и определяли в них количество свободных жирных кислот.

Жиры кислотный состав анализировали на газовом хроматографе 7890А с масс-селективным детектором 5975С VLMSD фирмы Agilent Technologies (США). Для этого образец в количестве 1 г подвергали обработке в течение 3 ч смесью 10 мл хлороформа и 10 мл метанола по модифицированному методу Фолча в присутствии 1 % раствора KCl для растворения липидных компонентов, экстракт фильтровали через бумажный обеззоленный фильтр и после удаления избытка растворителей выпариванием досуха подвергали кислотному гидролизу с целью получения смеси метиловых эфиров кислот, которую анализировали методом газовой хроматографии. Обработывали 0,01 г липидов в 3 мл 15%-ного раствора ацетилхлорида в метаноле при 100 °С в течение 2 ч с последующей нейтрализацией смеси 1,25 мл насыщенного КОН в CH<sub>3</sub>ОН до pH 5,0–6,0. К смеси добавляли 3 мл насыщенного водного раствора NaCl и 3 мл гексана, выдерживали несколько минут и отбирали на анализ 0,2 мкл про-

зрачного гексанового слоя, содержащего метиловые эфиры жирных кислот. Условия анализа на капиллярной колонке 5 мкм: повышение температуры колонки в термостате от 100 до 260 °С со скоростью 10 °С/мин; температура инжектора 250 °С, детектора 300 °С; расход водорода от генератора — 35 см<sup>3</sup>/мин; поток азота — 20 см<sup>3</sup>/мин; деление потока 1:100; время анализа 30 мин; введение 1 мкл образца. Для расчета содержания изомеров использовали автоматическую базу данных для поиска и идентификации данных хроматомасс-спектрометрии NIST08 MS Library с вероятностью корреляции пиков более 85 %.

Для количественного определения использовали стандартные растворы смеси метиловых эфиров жирных кислот C4–C24 в метаноле № 47885 Supelco, массовая концентрация 10 мг/см<sup>3</sup>: масляной (C4:0), капроновой (C6:0), каприловой (C8:0), каприновой (C10:0), деценовой (C10:1), ундекановой (C11:0), лауриновой (C12:0), тридекановой (C13:0), миристиновой (C14:0), миристолеиновой (*цис*-9-тетрадеценовой C14:1), пентадекановой (C15:0), *цис*-10-пентадеценовой (C15:1), пальмитиновой (C16:0), пальмитолеиновой (*цис*-9-гексадеценовой C16:1), маргариновой (C17:0), *цис*-10-гептадеценовой (C17:1), стеариновой (C18:0), олеиновой (*цис*-9-октадеценовой C18:1n9c), элаидовой (транс-9-октадеценовой C18:1n9t), линолевой (*цис*-9,12-октадекадекадиеновой C18:2n6), гамма-линоленовой (*цис*-6,9,12-октадекстриеновой C18:3n6), альфа-линоленовой (*цис*-9,12,15-октадекстриеновой C18:3n3), нондекановой (C19:0), арахидиновой (C20:0), гадолеиновой (*цис*-9-эйкозеновой C20:1n9), *цис*-11,14-эйкозадиеновой (C20:2n6), *цис*-8,11,14-эйкозатриеновой (C20:3n6), *цис*-11,14,17-эйкозатриеновой (C20:3n3), арахидиновой (*цис*-5,8,11,14-эйкозатетраеновой C20:4n6), эйкозапентаеновой (*цис*-5,8,11,14,17-эйкозапентаеновой C20:5n3), генийкозановой (C21:0), бегеновой (C22:0), эруковой (*цис*-13-докозеновой C22:1n9), *цис*-13,16-докозановой (*цис*-13,16-докозадиеновой C22:2n6), лупанодоновой (*цис*-7,10,13,16,19-докозапентаеновой C22:5n3), докозагексаеновой (*цис*-4,7,10,13,16,19-докозагексаеновой C22:6n3), трикозановой (C23:0), лигноцириновой (C24:0), нервоновой (*цис*-15-тетракозеновой C24:1) №46951U Supelco.

Морфологические свойства дисперсных эмульсий (размер частиц) определяли с помощью светового

микроскопа (×200) Olympus CX23 (Япония) и вставленной оптической решеткой, позволяющей оценивать размеры частиц в световом поле.

Контроль липазной активности осуществляли стандартным методом (Ivankin et al., 2021).

Контроль процесса биотрансформации осуществляли путем отбора проб и установления в них достигаемого оптимального жирнокислотного состава с максимальным содержанием кислот семейства ω3.

### Процедура исследования

Процедура исследования включает сбор жирового сырья, смешивание его с другим видом жирового сырья и биотрансэтерификацию смеси низкокачественного жира с добавкой иного жира высококачественную композицию в присутствии липаз.

### Анализ данных

Метрологические характеристики методов при доверительной вероятности  $P = 0,95$ . Предел повторяемости  $r = 0,5\%$ . предел воспроизводи-

мости  $R = 1\%$ ; границы абсолютной погрешности  $\Delta \pm 10\%$ . Результаты представлены в виде средних значений не менее трехкратных повторов ( $n$ ) с расчетом стандартного отклонения. Статистическую обработку результатов осуществляли на основе подсчета средних значений величин и стандартной средней ошибки. Полученные результаты не выходили за пределы доверительной вероятности  $p = 0,85-0,95$ , при доверительном интервале  $\Delta \pm 10\%$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Методология переработки жирового сырья должна включать получение достоверной информации об исходном жирнокислотном составе и его превращении в липидную композицию с заданным оптимальным содержанием жирных кислот.

В Таблице 1 представлены результаты анализа жирнокислотного состава исследуемых объектов. Из представленных данных видно, что за счет осуществления процесса переэтерификации, происходит снижение в продукте доли насыщенных жирных кислот и возрастание содержания ценных ненасыщенных жирных кислот.

Таблица 1

Жирнокислотный состав животного сырья и модифицированных продуктов ( $n = 3$ )

Table 1

Fatty Acid Composition of Animal Raw Materials and Modified Products ( $n = 3$ )

Наименование жирной кислоты	Жир нутряной свинной		Костный жир крупного рогатого скота		Жировые отходы мяскокомбината	
	Сырье > продукт					
	исходное	биотрансформированное	исходное	биотрансформированное	исходное	биотрансформированное
Масляная C4:0	0,02	0,01	—*	—	—	—
Капроновая C6:0	0,08	0,06	0,06	0,04	0,03	0,05
Каприловая C8:0	0,07	0,05	0,07	0,04	0,04	0,03
Каприновая C10:0	0,86	0,31	0,68	0,33	0,18	0,1
Дециловая C10:1	0,05	0,01	0,1	0,01	0,1	0,08
Ундециловая C11:0	0,12	0,11	0,34	0,37	0,13	0,08
Лауриновая C12:0	0,18	0,12	0,28	0,25	1,38	0,81
Тридекановая C13:0	0,17	0,08	0,2	0,09	0,26	0,33
Миристиновая C14:0	6,59	3,77	5,9	3,42	5,68	3,47
Миристолеиновая C14:1	0,1	0,06	0,07	0,07	2,1	1,26
Пентадекановая C15:0	1,48	0,51	1,31	0,38	1,3	0,36
цис-10-пентадеценивая C15:1	0,43	0,13	0,55	0,16	0,66	0,47

Окончание Таблицы 1

Наименование жирной кислоты	Жир нутряной свиной		Костный жир крупного рогатого скота		Жировые отходы мясокомбината	
	Сырье > продукт					
	исходное	биотрансформированное	исходное	биотрансформированное	исходное	биотрансформированное
Пальмитиновая C16:0	26,99	24,11	27,8	24,88	28,05	26,3
Пальмитолеиновая C16:1	2,93	0,67	3,11	0,72	1,23	0,55
Маргариновая C17:0	0,45	1,08	0,26	1,09	0,35	0,9
Гептадеценная C17:1	0,12	0,14	0,22	0,43	0,23	0,82
Стеариновая C18:0	4,41	1,2	3,57	1,3	20,77	18,2
Олеиновая C18:1n9c	30,24	46,02	28,67	44,26	19,33	15,8
Элаидиновая C18:1n9t	0,01	0,01	0,03	0,04	0,18	0,32
Линолевая C18:2 n6	0,58	0,74	0,46	0,32	1,05	0,93
γ-Линоленовая C18:3n6	1,13	0,33	1,44	0,37	1,18	0,21
α-Линоленовая C18:3n3	1,35	1,48	1,4	1,33	1,14	1,32
Нондекановая C19:0	0,18	0,16	0,22	0,23	0,17	0,22
Гадолеиновая C20:1n9	2,38	0,6	1,69	0,58	1,06	0,25
цис-8,11,14-эйкозатриеновая C20:3n6	0,51	0,44	0,31	0,28	0,31	0,26
цис-11,14,17-эйкозатриеновая C20:3n3	0,21	0,66	0,12	0,53	0,31	0,55
Арахидоновая C20:4n6	0,36	0,1	0,29	0,08	0,24	0,19
Эйкозопентаеновая C20:5n3	0,1	0,16	0,08	0,06	0,1	0,15
Генэйкозановая C21:0	0,27	0,09	0,34	0,1	0,23	0,12
Бегеновая C22:0	0,22	0,13	0,31	0,26	0,43	0,18
Эруковая C22:1n9	0,1	0,12	0,15	0,41	0,22	0,35
цис-13,16,17-докозациеновая C22:2	0,03	0,01	0,03	0,02	0,08	0,06
цис-13,16-докозановая C22:2n6	0,04	0,06	0,05	0,03	0,1	1,04
Лупанодоновая C22:5n3	0,03	0,05	0,01	0,02	0,04	0,09
Докозопентаеновая C22:5n3	0,01	0,02	0,01	0,01	0,05	1,06
Докозагексаеновая C22:6n3	0,38	1,13	0,21	0,29	–	0,44
Трикозановая C23:0	2,23	3,07	3,6	3,9	2,78	4,43
Лигноцериновая C24:0	1,56	2,12	2,45	3,48	4,11	4,56
Нервоновая C24:1	0,36	0,57	0,41	0,52	0,15	0,23

Примечание. \* не обнаружено с уровнем содержания менее 0,01.

Note. \*not detected at a content level below 0.01.

Процессы переработки сложного по компонентному составу жирового сырья в силу своих физико-химических характеристик протекают недостаточно интенсивно, поэтому целесообразно использование методов активного физико-химического воздействия, особенно ультразвука, позволяющего сравнительно легко получать высокодисперсные эмульгированные системы В Таблицах 2 и 3 пока-

заны некоторые результаты предварительной механической и ультразвуковой обработки.

Методология корректировки липидного статуса животного сырья основана на использовании процесса биоэтерификации одного жира в присутствии другого жира с благоприятным составом с получением продукта в две основные стадии, включающие

**Таблица 2**

Влияние времени ультразвуковой обработки жировых отходов мясокombината с частотой 25 кГц на размер частиц образующейся эмульсии (n = 4)

**Table 2**

Effect of Ultrasonic Treatment Time at a Frequency of 25 kHz on the Particle Size of the Resulting Emulsion from Meat Processing Plant Fat Waste (n = 4)

Номер пробы	Время ультразвуковой обработки, мин	Средний размер частиц в эмульсии, мкм
1	0	26,5 ± 1,7
2	5	15,9 ± 0,9
3	7	9,8 ± 0,4
4	10	4,6 ± 0,3
5	15	2,2 ± 0,2
6	20	2,1 ± 0,2

**Таблица 3**

Полидисперсность 40 % жировой эмульсии в зависимости от условий обработки (n = 3)

**Table 3**

Polydispersity of 40% Fat Emulsion Depending on Processing Conditions (n = 3)

Наименование	Средний диаметр, мкм, % от суммы частиц				
	0,1... 1,0	1,0... 2,0	2,0... 10,0	10,0... 40,0	40... 200
Жировой отход, миксер 5000 об/мин, 1 ч.	23	23	38	13	3
Жировой отход, ультразвук, 200 Вт/л, 2 ч.	36	30	21	12	1
Говяжий жир, миксер, 2000 об/мин, 2 ч.	22	23	39	13	3
Жир говяжий, ультразвук 200 Вт/л, 2 ч.	45	26	21	7	1

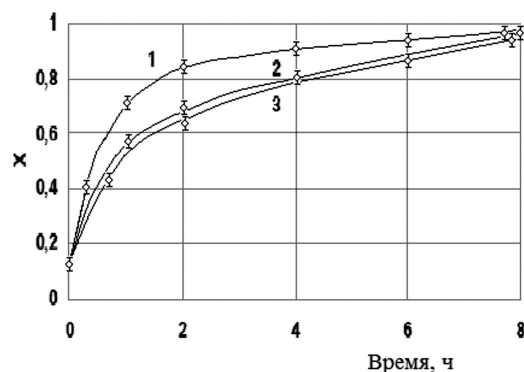
сперва гидролиз исходного жира с последующим переносом в его состав жирных кислот из второго компонента в присутствии липаз. Кинетика этих стадий предопределяет оптимальные технологические параметры всего процесса. На Рисунке 1 представлены кинетические кривые гидролитического процесса обработки животного жира в присутствии ферментных препаратов. На Рисунке 2 представлены кинетические кривые выхода продукта и расхода жирового сырья в процессе переэтерификации, позволяющие оценивать скорость процесса биотрансформации.

**Рисунок 1**

Выход продукта (X) в зависимости от времени обработки ферментом

**Figure 1**

Product Yield (X) Depending on Enzyme Treatment Time



Примечание. 1 – микробная липаза, 2 – панкреатин, 3 – липаза поджелудочной железы. Температура 60°C, pH 5,0, начальная концентрация субстрата 300 г/л, начальная липазная активность 500 ед/л.

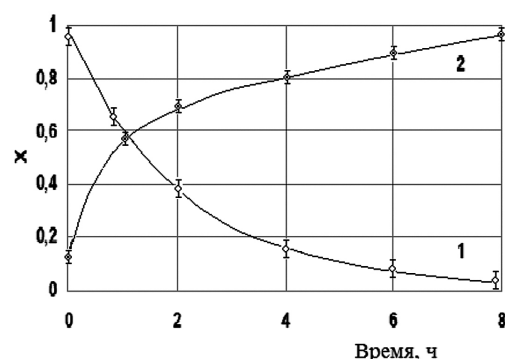
Note. 1 – microbial lipase, 2 – pancreatin, 3 – pancreatic lipase. Temperature: 60°C, pH: 5.0, initial substrate concentration: 300 g/L, initial lipase activity: 500 U/L.

**Рисунок 2**

Кинетика выхода продуктов (X), потребления субстрата (1) и накопления продуктов гидролиза (2) жировых отходов при обработке панкреатической липазой во времени в присутствии 20 % рыбьего жира

**Figure 2**

Kinetics of Product Yield (X), Substrate Consumption (1), and Accumulation of Hydrolysis Products (2) from Fat Waste During Pancreatic Lipase Treatment over Time in the Presence of 20% Fish Oil



Примечание. Температура 60 °С, pH 5,0, начальная концентрация субстрата 350 г/л, начальная активность липазы 500 ед/л, предварительная инкубация фермента 20 мин.

Note. Temperature: 60°C, pH: 5.0, initial substrate concentration: 350 g/L, initial lipase activity: 500 U/L, pre-incubation of the enzyme: 20 minutes.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Выбор объектов исследования обусловлен необходимостью отработать методологию переработки бросовых жиров отходов мясоперерабатывающих предприятий. Для сопоставления использовали жировое сырье животного происхождения, которое используются на пищевые цели с точки зрения возможности корректировки их липидного статуса.

Анализ данных, представленных в Таблице 1 показывает, что сырье животного происхождения как в нативной форме, так и в виде технологических отходов, имеет жирнокислотный состав, который, по-видимому, не может рассматриваться в целом, как оптимальный для пищевых систем. В исходном животном (свином) жире, а также жире говяжьего происхождения содержится достаточно много предельных жирных кислот, которые, как известно не являются благоприятными для внутренних биохимических процессов живого организма (Zhang et al., 2024). Соотношение  $\omega 6/\omega 3$  для выявленных жирных кислот в этом случае составляло более 10. В составе жиров технических отходов данный показатель был больше 12...15, а доля предельных жирных кислот превышала 60%, что не соответствует составу высококачественных природных животных жиров.

Для эффективного осуществления процесса корректировки липидного статуса животного сырья использовали принцип максимально возможного диспергирования исходного субстрата с образованием 40...50%-ной эмульсии, которую далее подвергали гидролизу липазой в установленных оптимальных условиях: концентрация субстрата 300...400 г/л, температура 55...60 °С.

Корректировка липидного статуса, т.е. изменение относительного состава жирных кислот с повышением доли эссенциальных жирных кислот, в первую очередь семейства  $\omega 3$  может быть осуществлена за счет переэтерификации жира в присутствии липаз. В работе использовали разные варианты данного фермента, включающего как очищенную микробную липазу, так и различные ее формы в виде нативного комплекса поджелудочной железы и комплексного ферментативного препарата — панкреатина.

Все три формы фермента позволяли получать результат при условии введения процесса в сопоставимых условиях.

Анализ кинетических кривых процесса биотрансформации, показанных на Рисунке 1 позволяет сравнивать эффективность использованных ферментных систем. Видно, что очищенный фермент проявляет при прочих равных условиях максимальную активность, в то время как для достижения приемлемого выхода при использовании других форм липазного фермента требуется больше времени, за которое достигается максимальная конверсия.

Выбранные условия обработки исходного жира обеспечивали конверсию жировых отходов и нативного животного жира на уровне более 90%. Использование микробной липазы в заданных условиях позволило получить продукт с аналогичным выходом почти в 1,5 раза быстрее. Ферментный комплекс из поджелудочной железы подвергался предварительной активации путем нагревания его суспензии в течение 20...30 мин при температуре 50 °С.

Технические отходы мясоперерабатывающих предприятий характеризуются высокой плотностью и вязкостью, что обусловлено значительным содержанием в них насыщенных жирных кислот. Нативная структура животных жиров также достаточно плотная, что ограничивает доступность жирового субстрата воздействию ферментного комплекса, поэтому важным технологическим приемом, обеспечивающим эффективность липазных превращений, является поддержание стабильной эмульсии. При этом общая тенденция эффективности процесса возрастает при увеличении дисперсности и снижении размера частиц в системе эмульсии (Таблица 2).

Для сравнения в Таблицах 2 и 3 представлены результаты формирования эмульсий механическими способами при интенсивном перемешивании и ультразвуком. В ряде случаев, при нехватке формирования устойчивости эмульсии за счет содержащихся примесей белка, в систему можно вводить дополнительно 1% эмульгатора, например, карбоксиметилцеллюлозы. Во всех случаях наиболее эффективное диспергирование достигалось за счет использования ультразвука. Было целесообразно обрабатывать жиры ультразвуком с частотой 25 кГц в течение 15...20 минут.

Выход продукта для эмульгированной системы с частицами менее 2 мкм оказывался в 1,5...3 раза выше при прочих равных условиях по сравнению с проведением аналогичного процесса с частицами каплей жира размером более 2...10 мкм.

Естественное состояние жировых компонентов природного сырья, в том числе и отходы от их промышленной переработки включает комплекс нативных жирных кислот, однако их состав и соотношения в ряде случаев целесообразно подвергать принудительной корректировке. Для изменения липидного статуса животного жира процесс обработки проводили в присутствии 20% добавки рыбьего жира. В таких жирах содержание кислот семейства  $\omega 3$  максимально по сравнению с другими видами природного сырья (г/100 г): C18:3n3 0,5...2,0; C20:3n3 0,5...3,0; C20:5n3 0,7...1,0; C22:6n3 5,0...20,5.

Общую схему переработки жировых отходов мясокомбинатов в панкреатический гидролизат, а также, при необходимости низкокачественных животных жиров, можно представить в виде следующей последовательности: сырье (жиросодержащие отходы) >> диспергирование и обработка ультразвуком >> получение эмульсии жировых отходов >> гидролиз панкреатической липазой в условиях: температура 60°C, pH 5,0, начальная концентрация субстрата 200 г/л, начальная активность 500 ЕД/л, предварительная инкубация с ферментом 20 мин >> ферментативный гидролизат, содержащий глицерин и высшие жирные кислоты с измененным жирнокислотным составом.

В животных жирах обычно можно идентифицировать следующие жирные кислоты (ЖК, %): сумма жирных кислот ( $\Sigma$  ЖК) — 96,3; насыщенные (НЖК) — 42,8, в том числе: C4:0 (масляная) 0,1...1, C6:0 (капроновая) 0,05...0,1, C8:0 (каприловая) 0,1...1,4, C10:0 (каприновая) 0,1...1,3, C12:0 (лауриновая) 0,2...2,0, C14:0 (миристиновая) 0,8...1,6, C15:0 (пентадекановая) 0,04...1,1, C16:0 (пальмитиновая) ) 25,0...29,1, C17:0 (гептадекановая) 0,1...1,0, C18:0 (стеариновая) 13,8...18,2, C19:0 (нондекановая) 0,1...2,3, C20:0 (эйкозановая) 0,1...0,4, C22:0 (бегеновая) 0,3...0,55; мононенасыщенные (МНЖК) 41,9, в том числе: C14:1 (миристолеиновая) 0,01...0,5, C15:1 (цис-10-пентадеценная) 0,1...2,2, C16:1 (пальмитолеиновая) 1,7...2,5, C17:1 (цис-10-гептаде-

ценная) 0,5...3,3, C18:1n9c (цис-9-олеиновая) 30,0...44,5, C18:1n9t (транс-9-элаидовая) 0,1...2,2, C20:1 (цис-11-эйкозеновая) 0,5...1,5, C22:1n9 (эруковая) (0,1...1,5; полиненасыщенные (ПНЖК) 11,6, в том числе: C18:2n6c (линолевая) 7,2...9,6, C18:3n6 ( $\gamma$ -линоленовая) 0,5...2,0, C18:3n3 (*a*-линоленовая) 0,3...1,0, C20:2 (цис-11,14-эйкозадиеновая) 0,1...1,5, C20:3n6 (цис-8,11,14-эйкозатриеновая) 0,1...2,4, C20:4 (арахидоновая) 0,5...2,0, C22:2 (цис-13,16,17-докозадиеновая) 0,1...2,0, C22:6 (цис-4,7,10,13,16,19-докозагексаеновая) 0,1...1,5. В скобках указан диапазон значений содержания отдельных кислот для сырья разных партий.

Жирнокислотный состав исходного исследованного жирового отхода преимущественно содержал насыщенные жирные кислоты с соотношением насыщенных, мононенасыщенных и полиненасыщенных кислот НЖК : МНЖК : ПНЖК более 60 : 35 : 5. Из такого сырья гидролитическим методом сложно получить качественные липидные продукты (Gasco et al., 2020).

Для производства жировых продуктов с выгодным соотношением ненасыщенных жирных кислот и высоким индексом  $\omega 3/\omega 6$  ферментативную обработку целесообразно проводить в присутствии других жиров, богатых полиненасыщенными кислотами группы ПНЖК, что и было проделано.

Введение в гидролизуемую смесь отходов животноводства до 50% жирового сырья с повышенным содержанием кислот  $\omega 3$  практически не изменяло кинетику процесса под влиянием липаз. Как следует из данных Рисунка 2, процесс гидролиза жиров завершался за 8 ч более чем на 80...90% с высвобождением всех свободных жирных кислот, связанных в жировом субстрате.

Полученный продукт из жировых отходов предполагалось использовать для кормления продуктивных животных. Процесс гидролиза сырья целесообразно перевести в режим переэтерификации, завершая его в течение первых 2 часов с достижением 50%-ной конверсии.

Испытания показали, что в результате получается продукт со сбалансированным жирнокислотным составом, содержащим до 22 г/100 г всех свободных жирных кислот.

Основной жирнокислотный состав переэтерифицированного продукта из жировых отходов включал (%): C4:0  $0,04 \pm 0,02$ ; C6:0  $0,06 \pm 0,02$ ; C8:0  $0,16 \pm 0,04$ ; C10:0  $0,14 \pm 0,05$ ; C12:0  $0,18 \pm 0,06$ ; C14:0  $0,71 \pm 0,25$ ; C15:0  $0,06 \pm 0,03$ ; C16:0  $22,5 \pm 3,09$ ; C17:0  $1,22 \pm 0,26$ ; C18:0  $16,1 \pm 1,89$ ; C19:0  $1,4 \pm 0,6$ ; C20:0  $0,16 \pm 0,05$ ; C22:0  $1,74 \pm 0,31$ ; C14:1  $0,04 \pm 0,02$ ; C15:1  $0,15 \pm 0,04$ ; C16:1  $4,4 \pm 0,5$ ; C17:1  $0,5 \pm 0,2$ ; C18:1n9c  $28,2 \pm 2,4$ ; C18:1n9t  $1,2 \pm 0,4$ ; C20:1  $0,7 \pm 0,2$ ; C22:1n9  $0,45 \pm 0,06$ ; C18:2n6c  $4,4 \pm 0,4$ ; C18:3n6  $0,4 \pm 0,1$ ; C18:3n3  $0,5 \pm 0,2$ ; C20:2  $4 \pm 0,2$ ; C20:3n6  $0,5 \pm 0,1$ ; C20:4  $1,6 \pm 0,17$ ; C22:2  $0,5 \pm 0,2$ ; C20:5n3  $0,6 \pm 0,2$ ; C22:6  $1,3 \pm 0,2$ . Полученный продукт имел рН 4,5...4,8; сухой остаток 35...40%; вязкость при 60 °С, 7...9 мПа·с; содержание глицерина 10...13%.

В литературе отмечалось, что присутствие в питательных системах компонентов морского происхождения может носить отрицательный характер из-за неблагоприятной вкусовой гаммы (Simonini et al., 2021).

В нашем случае проведение панкреатической переработки жировых отходов, позволило получить продукт, не только содержащий все необходимые для организма млекопитающих жирные кислоты с повышенным содержанием  $\omega 3$  жирных кислот, но и в том числе свободные короткие жирные кислоты с привлекательными свойствами — капроновая и каприловая в количествах 0,03...0,06%. Минимальная пороговая концентрация вкусового восприятия этих алифатических кислот составляет менее 5 мг/л, что повышает привлекательность продукта в случае его использования в составе животного корма, как отмечено в работе (Banaszak et al., 2020). Испытания показали, что их присутствие в питательном рационе, в частности свиней, вызывает повышенное потребление кормов. Наличие глицерина в составе полученного продукта со сладким вкусом также способствует привлекательности животного корма.

Полученные данные по скорректированному жирнокислотному составу позволяют их интерпретировать как подтверждение возможности получения липидных жировых композиций с повышенным содержанием важных эссенциальных жирных кислот при использовании низкокачественного жирового сырья. Это означает, что переработка комбинированных жировых смесей в при-

сутствии ферментов позволяет вводить в оборот ранее мало или практически неиспользуемые жироросодержащие отходы.

Подходы к эффективному осуществлению процесса переэтерификации жиров высказывались нами ранее (Neklyudov et al., 2008; Бабурина и соавт., 2015; Baburina et al., 2015). В данной работе была экспериментально подтверждена техническая возможность получения биотрансформированных жировых продуктов из животного сырья. Аналогичные подходы были реализованы в последних работах некоторых исследователей (Duan, 2023; Fan, 2023; Huang, 2023).

Ограниченное влияние некоторых примесей, прежде всего белков, не позволяют выявить полностью достоверную картину их влияния на кинетические характеристики описанных процессов, поскольку жировые отходы различных мяскокомбинатов существенно различаются. В этом случае состав получаемых продуктов может отличаться, однако общие основные соотношения жирных кислот зависят в основном от массового соотношения трансформируемого и добавляемого жирового сырья, что приводит к получению примерно тех скорректированных по составу жирных кислот продуктов, которые описаны в статье.

Использованная методология позволяет в целом корректировать естественный липидный статус пищевых животных жиров, повышая в них содержание полезных  $\omega 3$  жирных кислот.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе работы был выработан подход к созданию методологии переработки отходов мясоперерабатывающих предприятий в полноценные биохимические добавки, а также, при необходимости, корректировки состава эссенциальных жирных кислот в промышленных животных жирах для повышения их биологической ценности. Основными ограничениями данного исследования являются невозможность осуществления анализа различных видов бросового жирового сырья, поскольку на предприятиях не осуществляется их раздельный сбор.

Полученные результаты исследования могут быть использованы для создания новых высокоэффективных питательных систем, а реализация работы может позволить существенно улучшить методологию получения жировых ингредиентов для расширения кормовой базы сельскохозяйственных животных.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на использование методологии для получения липидных компонентов из жиров иного филогенетического происхождения.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Бабурина, М.И., Иванкин, А.Н., & Красноштанова А. А. (2015). Биотрансформация жировых отходов как метод прижизненного формирования качества мясного сырья путем применения аттрактивных кормов. *Все о мясе*, (4), 44–48.
- Baburina, M. I., Ivankin, A. N., & Krasnoshtanova A. A. (2015). Biotransformation of fat waste as a method of intravital formation of the quality of raw meat through the use of attractive feed. *All About Meat*, (4), 44–48 (In Russ).
- Иванкин, А. Н., Олиференко, Г. Л., & Куликовский, А. В. (2021). *Аналитическая химия*. Москва: Кнорус.
- Ivankin, A. N., Olfierenko, G. L., Kulikovskiy, A. V. (2021). Analytical chemistry. Moscow: Knorus. (In Russ).
- Ates, S., Keles, G., Demirci, U., Dogan, S., Kirbas, M., Filley, S. J., & Parker, N. B. (2020). The effects of feeding system and breed on the performance and meat quality of weaned lambs. *Small Ruminant Research*, 192, Article 106225. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2020.106225>
- Banaszak, M., Kuzniacka, J., Biesek, J., Maijran, G., & Adamski, M. (2020). Meat quality traits and fatty acid composition of breast muscles from ducks fed with yellow lupin. *Animal*, 14(9), 1969–1975. <https://doi.org/10.1017/S1751731120000610>
- Bikker, P., & Jansman, A. J. M. (2023). Review: Composition and utilisation of feed by monogastric animals in the context of circular food production systems. *Animal*, 17(7), Article 100892. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2023.100892>
- Budak, D., Taşdemir, U., Avdatek, F., & Yeni, D. (2023). The effects of long-chain fatty acids supplemented to rations during the transition and early lactation periods on reproductive performance in Simmental cattle with low estrus signs. *Livestock Science*, 278(12), Article 105371. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2023.105371>
- Bures, D., Needham, T., Barton, L., Lebedova, N., Kotrba, R., Rehak, D., Kucerova, I., Kloucek, P., & Hoffman, L. C. Consumer acceptance and quality of game meat “droewors” sausages with different levels of added fat. *Meat Science*, 210(4), Article 109424. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2024.109424>
- Bychkova, E., Rozhdestvenskaya, L., Podgorbunskikh, E., & Kudachyova, P. (2023). The problems and prospects of developing food products from high-protein raw materials. *Food Bioscience*, 56(12), Article 103286. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103286>
- Chantakun, K., Nilsuwan, K., Tagrida, M., Sumpavapol, P., & Benjakul, S. (2022). Tender coconut water fortified with edible bird’s nest protein hydrolysate subjected to sterilization and high hydrolytic pressure processes: Qualities, acceptability and changes during refrigerated storage. *Food Control*, 140(10), Article 109116. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2022.109116>
- Diaz, J. H., Warren, R. J., & Osterm M. J. (2020). The disease ecology, epidemiology, clinical manifestations and management of trichinellosis linked to consumption of wild animal meat. *Wilderness & Environmental Medicine*, 31(2), 235–244. <https://doi.org/10.1016/j.wem.2019.12.005>
- De Caro, J., Sias B., Grandval, P., Ferrato, F., Halimi, H., Carriere, F., & De Caro, A. (2014). Characterization of pancreatic lipase-related protein 2 isolated from human pancreatic juice. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) — Proteins and Proteomics*, 1701(9), 89–99. <https://doi.org/10.1016/j.bbapap.2004.06.005>

## АВТОРСКИЙ ВКЛАД

**Алексей Николаевич Веревкин:** концептуализация, написание-рецензирование и редактирование рукописи

**Андрей Николаевич Иванкин:** концептуализация, написание-рецензирование и редактирование рукописи

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

**Alexey N. Verevkin:** conceptualization, writing-review and editing of the manuscript

**Andrey N. Ivankin:** conceptualization, writing-review and editing of the manuscript

- Duan, Z., Quan, X., Chen, M., Shi, H., Wang, Z., Li, X., & Qiao, Y. (2023). Compositional characteristics and indication of n-fatty acids in alpine meadow plants and soils. *Biochemical Systematics and Ecology*, 107(4), Article 104613. <https://doi.org/10.1016/j.bse.2023.104613>
- Fan, Z., & Jia, W. (2023). Long short-term memory based quasi-targeted lipidomics reveals propane-1,2-diol expediting the digestion of lipids via mediating the  $\alpha$ -helices to a random curl or  $\beta$  folding of lipase. *Food Research International*, 173(11), Article 113411. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113411>
- Gasco, L., Biancarosa, I., & Liland, N. S. (2020). From waste to feed: A review of recent knowledge on insects as producers of protein and fat for animal feeds. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 23, 67–79. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2020.03.003>
- Gillespie, J. (2023). Feed rations fed by US dairy producers. *Journal of Dairy Science*, 106(11), 8152–8168. <https://doi.org/10.3168/jds.2023-23363>
- Huang, Y., Li, H., Wang, Z., Fu, Y., Chen, Y., & Wang, X. (2023). Enzymatic synthesis of branched chain fatty acid-enriched structured triacylglycerols via esterification with glycerol. *Food Chemistry*, 429(15), Article 136943. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136943>
- Huuskonen, A., Hietala, S., Hyvonen, J., Leinonen, I., & Manni, K. (2023). Environmental impacts and animal performance of finishing bulls fed different silage-based total mixed rations. *Livestock Science*, 286(2), Article 105166. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2023.105166>
- Kashi, S., Satari, B., Lundin, M., Horvath, I. S., & Othman, M. (2017). Application of a mixture design to identify the effects of substrates ratios and interactions on anaerobic co-digestion of municipal sludge, grease trap waste, and meat processing waste. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(5), 6156–6164. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2017.11.045>
- Katan, T., Caballero-Solares, A., Taylor, R. G., Rise, M. L., & Parrish, C. C. (2019). Effect of plant-based diets with varying ratios of  $\omega 6$  to  $\omega 3$  fatty acids on growth performance, tissue composition, fatty acid biosynthesis and lipid-related gene expression in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part D: Genomics and Proteomics*, 30(6), 290–304. <https://doi.org/10.1016/j.cbd.2019.03.004>
- Kim, B. K., & Kim, S. A. (2023). Investigation of microbial ecology of salted seafood based on culture method and metagenome sequencing. *LWT*, 187(9), Article 115275. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115275>
- Kocabas, D. S., Lyne, J., & Ustunol, Z. (2022). Hydrolytic enzymes in the dairy industry: Applications, market and future perspectives. *Trends in Food Science & Technology*, 119(1), 467–475. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.12.013>
- Land, M., Vanderperren, E., & Raes, K. (2017). The effect of raw material combination on the nutritional composition and stability of four types of autolyzed fish silage. *Animal Feed Science and Technology*, 234(12), 284–294. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.10.009>
- Liang, Y., Chen, P., Chen, S., Liu, D., Jiang, F., Zhu, Z., Dong, K., Wei, L., & Hou, X. (2023). A greater ratio of thigh subcutaneous fat to abdominal fat is associated with protection against non-alcoholic fatty liver disease. *JHEP Reports*, 5(7), Article 100730. <https://doi.org/10.1016/j.jhepr.2023.100730>
- Liu, Y., Shen, N., Xin, H., Yu, L., Xu, Q., & Cui, Y. (2023). Unsaturated fatty acids in natural edible resources, a systematic review of classification, resources, biosynthesis, biological activities and application. *Food Bioscience*, 53(6), Article 102790. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102790>
- Lu, Y., Cao, J., Zhou, C., He, J., Sun, Y., Xia, Q., & Pan, D. (2021). The technological and nutritional advantages of emulsified sausages with partial back-fat replacement by succinylated chicken liver protein and pre-emulsified sunflower oil. *LWT*, 149(9), Article 111824. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111824>
- Ma, W., Li, H., Zhang, W., Zhai, J., Li, J., Liu, H., Guo, X.F., & Li, D. (2021). Effect of n-3 polyunsaturated fatty acid supplementation on muscle mass and function with aging. A meta-analysis of randomized controlled trials. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 165(2), Article 102249. <https://doi.org/10.1016/j.plefa.2021.102249>
- Mateos, P.S., Navas, M.B., Morcelle, S.R., Ruscitti, C., Matkovic, S. R., & Briand, L. E. (2021). Insights in the biocatalyzed hydrolysis, esterification and transesterification of waste cooking oil with a vegetable lipase. *Catalysis Today*, 372(7), 211–219. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2020.09.027>
- McQuilken S. A. (2021). The mouth, stomach and intestines. *Anaesthesia & Intensive Care Medicine*, 22(5), 330–335. <https://doi.org/10.1016/j.mpaic.2021.04.001>
- Neklyudov, A. D., Fedotov, G. N., & Ivankin, A. N. (2008). Intensification of composting processes by aerobic microorganisms: a review. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 44(1), 6–18. <https://doi.org/10.1134/S000368380801002>
- Nguyen, T. X., McGill, S., Weidt, S., Han, Q. H., Gelemanovic, A., McLaughlin, M., Savoini, G., Eckersall, P. D., & Burchmore, R. (2023). Proteomic changes associated with maternal dietary low  $\omega 6$ : $\omega 3$  ratio in piglets supplemented with seaweed. *Journal of Proteomics*, 270(1), Article 104739. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2022.104739>
- Orzuna-Orzuna, J. F., Hernandez-García, P. A., Chay-Canul, A. J., Galvan, C. D., & Ortíz, P. B. (2023). Microalgae as a dietary additive for lambs: A meta-analysis on growth performance, meat quality, and meat fatty acid profile. *Small Ruminant Research*, 227(10), Article 1070720. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2023.107072>
- Quaresma, M. A. G., Antunes, I. C., Ferreira, B. G., Parada, A., Elias, A., Barros, M. (2022) The composition of the lipid, protein and mineral fractions of quail breast meat obtained from wild and farmed specimens of Common quail (*Coturnix coturnix*) and farmed Japanese quail (*Coturnix japonica domestica*). *Poultry Science*, 101(1), Article 101505. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101505>
- Salami, S.A., Luciano, G., Biondi, L., Newbold, C. J., Kerry, J. P., & Priolo A. (2019). Sustainability of feeding plant by-

- products: A review of the implications for ruminant meat production. *Animal Feed Science and Technology*, 251, 37–55. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.02.006>
- Simonini, R., Maggioni, F., Zanetti, F., Fai, S., Forti, L., Prevedelli, D., & Righia, S. (2021). Synergy between mechanical injury and toxins triggers the urticating system of marine fireworms. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 534(3), 151487. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2020.15148731>.
- Short, C. A., & Hahn, D. A. (2023). Review. Fat enough for the winter? Does nutritional status affect diapause? *Journal of Insect Physiology*, 145(3), Article 104488. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2023.104488>
- Shurson, G. C., Dierenfeld, E. S., & Dou, Z. (2023). Review. Rules are meant to be broken – Rethinking the regulations on the use of food waste as animal feed. Resources, *Conservation and Recycling*, 199(12), Article 107273. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107273>
- Sun, Y., Xiao, Y., Li, C., Yang, J., Yang, S., Yang, B., & Huang, L. (2022). A parallel survey on the fatty acid composition in backfat and longissimus lumborum and comparison of their associations with growth and carcass traits in pigs. *Livestock Science*, 263(9), Article 104984. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.104984>
- Tejeda, J. F., Hernandez-Matamoros, A., & Gonzalez, E. (2023). Characteristics, lipogenic enzyme activity, and fatty acid composition of muscles in the Iberian pig: Effects of protein restriction and free-range feeding. *Livestock Science*, 267(1), Article 105142. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.105142>
- Verevkin, S. P., Pimerzin, A. A., Glotov, F. P., & Vutolkina, A. V. (2022). Biofuels energetics: Reconciliation of calorific values of fatty acids methyl esters with help of complementary measurements and structure–property relationships. *Fuel*, 329(1), Article 125460. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.125460>
- Xiaoyan, C., Zhongyong, G., Qiuli, F., Long, L., Xiajing, L., Yibing, W., Shouqun, J., & Zongyong, J. (2019). Effects of dietary perilla seed oil supplementation on lipid metabolism, meat quality, and fatty acid profiles in Yellow-feathered chickens. *Poultry Science*, 98(11), 5714–5723. <https://doi.org/10.3382/ps/pez358>
- Yang, M., Tao, L., Kang, X. R., Wang, Z. L., Su, L. Y., Li, L. F., Gu, F., Zhao, C. C., Sheng, J., & Tian, Y. (2023). Leaves as new raw food material: A review of its nutritional composition, functional properties, and comprehensive application. *Trends in Food Science & Technology*, 138(8), 399–416. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.05.013>
- Zapata, J., Gallardo, A., Romero, C., Valenzuela, R., Garcia-Diaz, D. F., Duarte, L., Bustamante, B., Gasaly, N., Gotteland, M., & Echeverria, F. (2022). n-3 polyunsaturated fatty acids in the regulation of adipose tissue browning and thermogenesis in obesity. Potential relationship with gut microbiota. *Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 177(2), Article 102388. <https://doi.org/10.1016/j.plefa.2021.102388>
- Zhang, W., Hu, W., Zhu, Q., Niu, M., An, N., Feng, Y., Kawamura, K., & Fu, P. (2024). Hydroxy fatty acids in the surface Earth system. *Science of The Total Environment*, 906(1), Article 167358. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167358>
- Zupancic, J., Kushwah, V., & Paudel, A. (2023). Pancreatic lipase digestion: The forgotten barrier in oral administration of lipid-based delivery systems. *Journal of Controlled Release*, 362(10), 381–395. <https://doi.org/10.1016/j.jconrel.2023.08.024>

# Исследование технологических методов экстракции инулина из корней обыкновенного цикория (*Cichorium intybus* L.)

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А.Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация

А. Х.-Х. Нугманов, И. А. Бакин, А. С. Мустафина, П. Н. Шаповалова

## КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

**Игорь Алексеевич Бакин**  
E-mail: bakin@rgau-msha.ru

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Нугманов, А. Х.-Х., Бакин, И. А., Мустафина, А. С., & Шаповалова, П. Н. (2024). Исследование технологических методов экстракции инулина из корней обыкновенного цикория (*Cichorium intybus* L.). *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(4), 33-44. <https://doi.org/10.36107/spfr.2024.4.597>

**ПОСТУПИЛА:** 17.02.2024

**ДОРАБОТАНА:** 22.11.2024

**ПРИНЯТА:** 16.12.2024

**ОПУБЛИКОВАНА:** 27.12.2024

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева по гранту «Разработка технологических приемов и сверхкритических методов получения растительных экстрактов сельскохозяйственного сырья» по Программе «Приоритет-2030» (соглашение № 075-15-2023-220 от 16 февраля 2023 года).

## АННОТАЦИЯ

**Введение:** Корни цикория (*Cichorium intybus* L.) являются ценным источником биоактивных компонентов, таких как инулин, которые широко используются в производстве обогащенных продуктов питания. Однако традиционные методы водной экстракции, основанные на настаивании, характеризуются длительным временем обработки и низкой эффективностью. Выбор оптимальных параметров экстракции представляет собой сложную задачу, которую можно эффективно решить с помощью методов математического моделирования.

**Цель:** Целью исследования было изучение и оптимизация технологических параметров экстракции компонентов из корней обыкновенного цикория (*Cichorium intybus* L.) с использованием микроволновой обработки.

**Материалы и методы:** Объектом исследования были корни цикория сорта Ярославский 1 (*Cichorium intybus* L. var. *sativum* DC.). Для характеристики использовались стандартные аналитические методы. Определение нестационарных концентрационных полей в растительном сырье проводилось путем решения модифицированного уравнения Лысанова В.М. с использованием численных методов.

**Результаты:** В ходе исследования установлено, что при традиционном настаивании концентрация целевых веществ в экстракте достигала  $5,92 \pm 0,01$  % через 185 минут. При дополнительном микроволновом воздействии мощностью 180 Вт сопоставимые значения концентрации были достигнуты за 7 минут. Расчет параметров модели массообмена показал увеличение коэффициента молекулярной диффузии до  $5,535 \times 10^{-11}$  м<sup>2</sup>/с, что привело к 25-кратному ускорению диффузии целевых компонентов.

**Заключение:** Применение микроволновой обработки значительно повышает эффективность экстракции биоактивных соединений из корней цикория, существенно сокращая время обработки. Адаптированная модель массообмена и её графические решения предоставляют надежную основу для определения оптимальных параметров процесса экстракции.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

корни цикория; *Cichorium intybus* L.; инулин; микроволновая экстракция; модель массообмена; коэффициент молекулярной диффузии; биоактивные соединения; оптимизация экстракции; обогащенные продукты питания



# Research on Technological Methods for Extracting Inulin from Common Chicory Roots (*Cichorium Intybus L.*)

Russian State Agrarian University –  
Moscow Timiryazev Agricultural  
Academy, Moscow, Russian Federation

Albert Kh.-Kh. Nugmanov, Igor A. Bakin, Anna S. Mustafina,  
Polina N. Shapovalova

## CORRESPONDENCE:

Igor A. Bakin,

E-mail: bakin@rgau-msha.ru

## FOR CITATIONS:

Nugmanov, A.Kh.-Kh., Bakin, I.A.,  
Mustafina, A.S., Shapovalova, P.N. (2024).  
Research on technological methods  
for extracting inulin from common  
chicory roots (*Cichorium Intybus L.*).  
*Storage and Processing of Farm Products*,  
32(4), 33-44. [https://doi.org/10.36107/  
spfp.2024.4.597](https://doi.org/10.36107/spfp.2024.4.597)

RECEIVED: 17.02.2024

REVISED: 22.11.2024

ACCEPTED: 16.11.2024

PUBLISHED: 27.12.2024

## DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The research was funded by Russian  
State Agrarian University - Moscow  
Timiryazev Agricultural Academy under  
the grant "Development of technological  
methods and supercritical methods of  
obtaining plant extracts of agricultural  
raw materials" within the framework of  
the «Priority 2030» Program (Agreement  
No. 075-15-2023-220  
February 16, 2023).

## ABSTRACT

**Introduction:** Chicory roots (*Cichorium intybus L.*) are a valuable source of bioactive components, such as inulin, which are widely utilized in the production of enriched food products. However, traditional water extraction methods based on infusion are characterized by lengthy processing times and low efficiency. The selection of optimal extraction parameters represents a complex problem that can be effectively addressed using mathematical modeling techniques.

**Purpose:** To investigate and optimize the technological parameters of component extraction from common chicory roots (*Cichorium intybus L.*) using microwave-assisted treatment.

**Materials and Methods:** The research utilized chicory roots of the Yaroslavsky 1 variety (*Cichorium intybus L. var. sativum DC.*). Standard analytical methods were employed for characterization. The determination of non-stationary concentration fields in plant raw materials was performed by solving the modified Lysanov V.M. equation using numerical approaches.

**Results:** The findings revealed that during traditional infusion, the concentration of target compounds in the extract reached  $5.92 \pm 0.01\%$  after 185 minutes. In contrast, the application of microwave irradiation at 180 W enabled the achievement of comparable concentrations within just 7 minutes. Parameter estimation for the mass transfer model indicated that the molecular diffusion coefficient increased to  $5.535 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ , resulting in a 25-fold acceleration of diffusion processes for the target components.

**Conclusion:** Microwave-assisted extraction significantly enhances the efficiency of bioactive compound recovery from chicory roots, drastically reducing processing time. The adapted mass transfer model and its graphical solutions provide a robust framework for determining the optimal parameters for the extraction process.

## KEYWORDS

chicory roots; *Cichorium intybus L.*; inulin; microwave-assisted extraction; mass transfer model; molecular diffusion coefficient; bioactive compounds; extraction optimization; enriched food products



## ВВЕДЕНИЕ

Учитывая стремление к потреблению натуральных продуктов, перспективной задачей является производство пищевых биологически активных соединений пребиотической направленности в виде инулиновых экстрактов из растительного сырья, а также их использование в технологии обогащенной продукции (Ozcan et al., 2024). В ряде исследований описаны полифруктозаны, представляющие собой смесь коротких цепочек глюкозы и фруктозы, которые извлекаются в основном из корней цикория или топинамбура (Кайшев и соавт., 2018; Титова и соавт., 2016; Гулюк и соавт., 2017). Основную долю рынка производителей инулин-содержащих биологически активных препаратов занимают страны, лидирующие в производстве данного биополимера, такие как Бельгия, Нидерланды, Голландия, Франция, США. В больших объемах инулиновые экстракты производятся и реализуются в Китайской Народной Республике, где выработка инулина увеличивается и достигает более 100 тыс. тонн в год (Кайшев и соавт., 2018; Гулюк и соавт., 2014). В России инулин в промышленных масштабах не производится, поставляется в основном в виде импортируемого сырья (Кайшев и соавт., 2018). Таким образом актуальна задача разработки технологии получения инулина с использованием отечественной сырьевой базы и технологий.

Важной технологической операцией извлечения инулина является экстрагирование комплекса полисахаридов из измельченного сырья. Интенсивность выхода веществ определяется кинетическими особенностями диффузионного процесса (Гулюк и соавт., 2014; Бакин и соавт., 2014; Redondo-Cuenca et al., 2021), а также зависит от ряда факторов (температура, величина гидромодуля, продолжительность процесса, степень измельчения сырья и др.) (Гулюк и соавт., 2014). Оптимизация этих параметров проведена в большинстве случаев для традиционных способов экстракции (Ankan et al., 2023).

На практике извлечение полисахаридов производится водой в качестве экстрагента. Известным способом ускорения экстракции становится механическое перемешивание или встряхивание при одновременном нагревании, в большинстве случаев до 80 °C (Toneli et al., 2008). Lingyun et al. (2007) показали, что при температуре от 65 °C до 76 °C наибольший выход веществ происходит

за 20 минут. На практике установлено, что при повышении температуры до кипения, время извлечения сокращается до 10...15 минут (Laurenzo et al., 1999). Однако следует учесть, что при увеличении температуры ухудшается эффективность последующей стадии осаждения инулина (Saengthongpinit et al., 2005). Повышение температуры процесса приводит к снижению содержания инулина при непрерывной переработке. При низкой скорости экстрагирования и высокой температуре (до 140 °C) в шнековом экстракционном аппарате происходят значительные сдвиговые напряжения, воздействие на клетки растительного сырья приводит к деградации инулина (Ankan et al., 2023).

Ускорение перехода целевых компонентов достигается рядом воздействий как на сырье, так и на экстрагент. Известно несколько способов интенсификации экстракции за счет механических колебаний, вибрационных, ультразвуковых, импульсных, дискретно-импульсных и др. эффектов (Бакин и соавт., 2014; Milic et al., 2022). Однако, применение новых методов воздействия, таких как СВЧ, ограничено в большинстве случаев лабораторными или полупромышленными установками (Kardelen et al., 2023; Demirci et al., 2023). Перспективным становится изучение и использование в технологии экстракции новых физических эффектов подготовки растительного сырья, в частности сверхвысокочастотного излучения.

Выбор потенциально наиболее эффективного метода экстракции для определенных биологически активных соединений является сложной задачей (Ozcan et al., 2024). Актуальной задачей становится разработка новых экологически чистых передовых технологий извлечения биоактивных соединений для их последующего безопасного использования, снижения воздействия на окружающую среду и максимального повышения эффективности экстракции. Эти «зеленые» технологии должны быть направлены на увеличение выхода веществ, при сокращении времени работы оборудования (Chemat et al., 2017).

Новым методом воздействия на сырье считается экстракция с помощью СВЧ-облучения, имеющая потенциал для применения в перерабатывающей промышленности (Титова и соавт., 2016; Petkova et al., 2018; Milić et al., 2022). При использовании СВЧ-воздействия экстрагирование водой при вы-

сокой температуре и под давлением парциальных паров в растительной массе обеспечивается в большей степени извлечение и автогидролиз полисахаридов, исключая использования химических веществ (Tsubaki et al., 2017; Zhang et al., 2022). Однако, малоизученным остается механизм внутренней диффузии в межклеточном пространстве, а также представляет практический интерес поиск новых технологических приемов экстрагирования, дающих больший выход и экстрактивность применительно к конкретным группам компонентов растительного сырья.

Цель текущего исследования: анализ и оптимизация технологических параметров извлечения экстрактивных компонентов из корней цикория обыкновенного (*Cichorium intybus L.*) при СВЧ — обработке.

Исследовательские вопросы:

- (1) Определить характеристики сырья и технологические параметры обработки, влияющие на процесс экстрагирования;

- (2) Сформулировать задачу массопереноса и диффузии полифруктозанов из корней цикория при СВЧ-воздействии для решения дифференциальных уравнений Лысянского В.М.;
- (3) Описать решение модели массопереноса численными методами и найти рациональные режимы извлечения экстрактивных веществ корней цикория.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Материалы

В качестве объекта растительного источника полифруктозанов изучен раннеспелый корневой цикорий обыкновенный (*Cichorium intybus L.*), сорта Ярославский 1 (*var. sativum DC.*), урожая 2023 года, выращенный на полях селекционного центра и экспериментальной базе ВНИИО-филиала ФГБНУ ФНЦО, Московской области. Сорт, согласно данным Государственного реестра селекционных достижений, выведен в 2022 году, его внешний вид представлен на Рисунке 1.

#### Рисунок 1

Раннеспелый корневой цикорий Ярославский 1 (*Cichorium intybus L. var. sativum DC.*)

#### Figure 1

Early-Ripening Root Chicory Yaroslavsky 1 (*Cichorium intybus L. var. sativum DC.*)



Образцы корнеплодов перед переработкой в течение четырех месяцев хранились в условиях овощехранилища ВНИИО — филиала ФГБНУ ФНЦО. Параметры хранения: температурный режим  $2...3 \pm 0,1^\circ\text{C}$  и относительная влажность воздуха  $75...80 \pm 1\%$ . Корнеплоды размещались в пластмассовых ящиках с полиэтиленовыми вкладышами. Содержание в сырье сухих веществ и инулина, соответственно  $21,6 \pm 0,1\%$  и  $18 \pm 0,1\%$ <sup>1</sup>.

## Методы

Извлечение целевых компонентов (полифруктозанов) корней цикория обыкновенного (*Cichorium intybus L.*) реализовано традиционным методом мацерации, с периодическим встряхиванием суспензии один раз в 10 минут, при контролируемых параметрах температуры ( $60 \pm 0,1^\circ\text{C}$ ), для соотношения сырье/экстрагент 1 к 3, до достижения равновесия в системе «твердое тело-экстрагент». Сравнимый метод интенсификации процесса экстрагирования реализован при дополнительном СВЧ воздействии от единичного облучателя (магнетрона) мощностью 180 Вт, при размещении облучаемого резервуара объемом 1 л в камере и при постоянном перемешивании.

В исследовании применялись стандартные и оригинальные методы: влажность измельченного растительного сырья по ГОСТ 28561–90 «Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сухих веществ или влаги», с использованием прибора МХ-50 («А&D Co., LTD», (Япония); сухие вещества в жидких извлечениях по ГОСТ ISO 2173–2013 «Продукты переработки фруктов и овощей. Рефрактометрический метод определения растворимых сухих веществ»; геометрических параметров измельченного растительного сырья с помощью цифрового микрометра Мегеон-80800 (при погрешности измерений 0,01 мм); плотность экстрактов по ГОСТ 29030–91 «Продукты переработки плодов и овощей. Пикнометрический метод определения относительной плотности и содержания растворимых сухих веществ»; физическая плотность растительного сырья находилась расчетным путем по правилу аддитивности, с учетом данных

химического состава сырья и плотностей составляющих компонентов.

В работе использован модифицированный метод определения концентрации полифруктозанов в рафинате (Sarkar et al., 2021), основанный на составлении и решении уравнений материальных балансов процесса экстракции, исходя из известных данных по содержанию активных компонентов в сырье. При этом данные по начальному количеству переносимых в экстракт веществ взяты из ранее проведенных авторами исследований и известных литературных данных о химическом составе рассматриваемого сырья.

Методика расчета нестационарных полей концентраций растительного сырья основана на решении известного дифференциального уравнения Лысянского В.М. переноса массы (Xiao yang et al., 2023; Jiang et al., 2023). Адаптация уравнений массопереноса и диффузии проведена к изучаемым объектам экстрагирования, с формулированием условий однозначности и технологических ограничений. Численное решение моделей массопереноса основывалось на аппроксимации производных функций разностными отношениями.

## Процедура исследования

Изучение кинетических закономерностей экстрагирования проводилось при сравнении известного метода мацерации и при дополнительном СВЧ облучении. Предварительно сырье (корневой цикорий) измельчалось терочной машиной до размера стружки  $0,27 \pm 0,001$  мм. Значение гидромодуля принято 1 к 3, при контролируемой температуре. В ходе опытов определялся химический состав для пяти партий сырья, после чего рассчитывались усредненные значения для сырья заданной влажности. Расчет нестационарных полей концентраций проводился с использованием дифференциальных уравнений массопереноса, при допущении, что задача является одномерной, а форма частиц приближена к тонкой пластине. В расчетах изменение значений концентрации извлекаемого компонента выражалось через объемную концентрацию

<sup>1</sup> Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Том 1. Сорта растений. <https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni/yaroslavskiy-1-tsikoriy-kornevoy/>

экстрактивных веществ. Значения равновесных концентраций целевого вещества при моделировании приняты по эмпирическим данным. С использованием программного обеспечения дифференциальные уравнения решались численными методами при заданных начальных и граничных условиях, с получением табличных и графических данных для последующего анализа и сопоставления.

## Анализ данных

Статистическая обработка экспериментальных данных (при пятикратной повторности) проводилась с использованием критерия Стьюдента, при доверительной вероятности 0,95. В исследовании, для решения алгебраических и дифференциальных уравнений, вывода таблиц и графиков, при анализе полученных результатов, использовались программные продукты: PTC Mathcad 14 (Education University Edition), Microsoft Excel (AcademicEdition), Graph 4.4.2 (Open source application).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В этом исследовании изучен современный подход к извлечению из растений биологически активных веществ. Микроволновая экстракция стала новой зеленой технологией, позволяющей уменьшить продолжительность процесса экстрагирования, стоимость, а также повысить выход целевых

компонентов. Изученный механизм извлечения основан на испарении влаги внутри растительных клеток при нагреве с помощью микроволнового облучения, последующем увеличении парциального давления пара в клетке и их разрушении. Данные явления подтверждены в опытах при сравнении метода извлечения полифруктозанов из корней цикория методом мацерации и при СВЧ облучении. Важным моментом исследования стало моделирование условий извлечения для их прогнозирования и определения технологического потенциала способа переработки корней цикория.

## Определение характеристик перерабатываемого сырья

Исходя из результатов ранее проведенных исследований по расчету диффузионных характеристик сырья (Бакин и соавт., 2014), а также рекомендаций по предварительной подготовке сырья (Данилин и соавт., 2020), выбраны диапазоны размеров 1...3 мм. В данном исследовании корневой цикорий измельчался терочной машиной с крупными отверстиями в виде капель, размер и форма которых представлена на Рисунке 2 (а). Получаемые таким образом измельченные частицы (Рисунок 2 (б)) представляли собой по форме стружку (в расплавленном состоянии тонкую пластинку), с характерным геометрическим размером  $h_q$ .

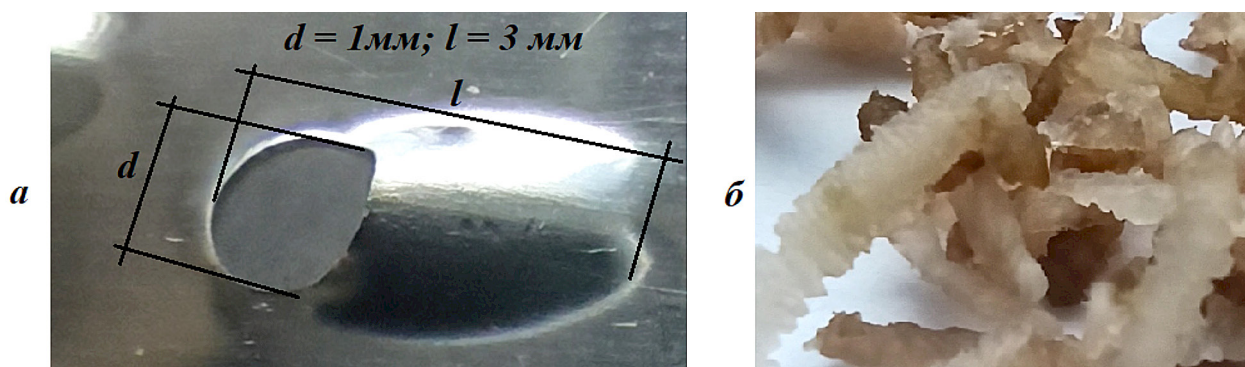
Для оценки разброса размеров толщины получаемой стружки было измерено 300 образцов, после усреднения полученных данных, принято,

Рисунок 2

Размер и форма терочной поверхности (а), используемая для измельчения объекта экстрагирования (б)

Figure 2

Size and Shape of the Grating Surface (a) Used for Grinding the Extraction Object (b)



что толщина измельченной частички ( $h_q$ ) равна  $0,27 \pm 0,001$  мм.

По результатам экспериментального определения влажности измельченного растительного сырья для пяти партий сырья рассчитано среднее значение 64,1%. Химический состав корневого цикория установлен из данных результатов исследователей (Вьютнова и соавт., 2019). Обобщенные результаты выборки представлены в виде фиксированного диапазона (Таблица 1).

**Таблица 1**

Химический состав корней цикория обыкновенного, %

**Table 1**

Chemical Composition of Common Chicory Roots, %

Влага	Белки	Жиры	Сахара	Инулин
72...77	1,0...1,2	0,1...0,3	1,0...6,0	12,0...30,0
Клетчатка	Зола	Фосфор	Калий	Кальций
1,3...1,8	1,1...1,9	0,3...0,4	1,3...1,4	0,3...0,4

Примечание. Из Вьютнова и соавт. (2019)

Note. From V'yutnova et al. (2019)

Данные по усредненным значениям химического состава изученных образцов экстрагирования, рассчитанные по методике описанной Е.П. Широковым (Широков, 1985), к приведенной исходной массе на основе реальной влажности объекта экстрагирования, приведены в Таблице 2.

**Таблица 2**

Усредненные данные химического состава корней цикория обыкновенного

**Table 2**

Average Chemical Composition Data of Common Chicory Roots

Влага, %	Белки, %	Жиры, %	Углеводы, %
64,10	1,72	0,29	30,5
Зола, %	Фосфор, %	Калий, %	Кальций, %
0,46	0,45	1,96	0,52

Из данных расчета усредненного химического состава следует, что содержание водорастворимых веществ в объекте составляет  $29,4 \pm 0,01$ %. Исходя из полученных значений химического состава образцов определена физическая плотность объекта экстрагирования, на основе правила аддитивности и известных данных плотностей составляющих компонентов. По данным работы (Андреева и со-

авт., 2020) принято, что исходные значения плотности сырьевых компонентов ( $\text{кг/м}^3$ ): минеральные вещества, 2160; вода, 1000; белковые компоненты, 330; жиры, 930; углеводы, 1580. Значение расчетной физической плотности составило  $856,4 \text{ кг/м}^3$ .

В экспериментальных исследованиях экстрагирования методом мацерации продолжительность достижения равновесной концентрации составила 3 часа, при среднем значении концентрации сухих веществ  $5,92 \pm 0,01$ %. Среднее значение физической плотности экстракта, полученного методом мацерации, при его температуре  $20 \pm 0,1$  °C, пикнометрическим методом (для пикнометра объемом 100 мл) равно  $1026 \text{ кг/м}^3$ .

Проведение эксперимента в выбранных диапазонах изменения температуры ( $60 \pm 0,1$  °C), связано с известными данными, что использование высоких температур может привести к увеличению нежелательных сопутствующих веществ в экстракте (Ruiz-Aceituno, et al., 2016). Результаты исследований Redondo-Cuenca et al. (2021) согласуются с выбранным нами диапазоном температур, когда наилучшие результаты экстракции инулина были достигнуты при температуре от 60 до 80 °C.

## Решение модели массопереноса

В предыдущих работах по изучению процесса извлечения инулина из различных растительных источников, сообщалось, что наиболее важными факторами, влияющими на извлечение и качество инулина, являются время и условия проведения процесса (Kanakasabai et al., 2023; Mangguali et al., 2024). Mangguali et al. (2024) и Kardelen et al. (2023) продемонстрировали, что использование микроволн, при экстракции водой растворимых пищевых волокон является решающим фактором, влияющим на эффективность и скорость экстракции. Механизм извлечения объясняется ускоренным объемным нагревом частиц сырья, разрывом слабых водородных связей. Диффузия растворенных веществ от частиц образцов при этом значительно увеличивается при переходе растворенных веществ в экстрагент (Zhenzhou et al., 2016).

Нами изучен процесс массопереноса, осуществляемого за счет разности содержания переносимого компонента на поверхности и внутри дисперсных

частиц растительного сырья. Принято допущение, что форма стружки условно приближена к тонкой пластине. Для расчета нестационарных полей концентраций использовались дифференциальные уравнения массопереноса (при одномерной задаче) в следующем виде:

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = -D(\tau) \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}, \quad (1)$$

где  $C$  — концентрация извлекаемого компонента в объеме измельченной стружки, кг/м<sup>3</sup>;  $x$  — координата глубины частицы, м;  $\tau$  — текущее время процесса,  $D(\tau)$  — коэффициент молекулярной диффузии в твердой фазе, изменяющийся по времени, м<sup>2</sup>/с.

Из уравнения (1) следует, что параметр ( $C$ ) в нем выражается объемной величиной, поэтому в расчетах значения концентрации целевых веществ как в экстракте, так и в исходном растительном сырье, выражен в величинах объемной плотности (кг/м<sup>3</sup>), которые пересчитываются по соотношению:

$$C = \frac{Cx(\%) \cdot \rho}{100}, \quad (2)$$

где  $Cx(\%)$  — концентрация компонента в исходном сырье, %;  $\rho$  — плотность экстрагента, кг/м<sup>3</sup>.

Расчетные значения объемной концентрации экстрактивных веществ как в полученном экстракте, так и в исходном сырье, составили соответственно 60,74 кг/м<sup>3</sup> и 251,78 кг/м<sup>3</sup>.

Для нахождения коэффициента распределения  $\varphi$ , являющегося отношением равновесных концентраций экстрактивного компонента в двух взаимодействующих фазах, в рассматриваемом случае для жидкой (экстракт) и твердой (рафинат) при постоянной температуре, использовано выражение (3):

$$\varphi = \frac{x}{y}, \quad (3)$$

где  $x$  — равновесная концентрация в экстракте, кг/м<sup>3</sup>,  $y$  — равновесная концентрация в рафинате, кг/м<sup>3</sup>.

С использованием программного обеспечения для заданных параметров рассчитано значение коэффициента распределения, которое составило 0,61.

Предложено для частиц экстрагента, непосредственно примыкающих к поверхностным слоям,

в соответствии с выражением (1), значение массового потока ( $q_{\Pi}$ ) определять по формуле:

$$q_{\Pi} = -D_I \left( \frac{\partial C}{\partial n} \right)_{\Pi}, \quad (4)$$

где  $D_I$  — коэффициент массопроводности, м<sup>2</sup>/с;  $\left( \frac{\partial C}{\partial n} \right)_{\Pi}$  — градиент концентрации на поверхности частиц сырья, кг/м.

Изменение значений коэффициента диффузии, с учетом выражения (4) и граничных условий:

$$D(\tau) = \frac{q_{\Pi}(\tau) \cdot h_{\text{ч}}}{2 \cdot \Delta C_{\text{ч}}(\tau)}, \quad (5)$$

где  $\Delta C_{\text{ч}}(\tau)$  — функция изменения концентрации в единичном объеме сырья, кг/м<sup>3</sup>.

В тоже время удельное количество извлекаемых веществ можно найти из уравнения массопереноса (Бакин и соавт., 2014):

$$q_{\Pi} = \frac{dM}{F \cdot d\tau}, \quad (6)$$

где  $dM$  — общая масса извлекаемых экстрактивных веществ;  $F$  — площадь массообмена, м<sup>2</sup>;  $d\tau$  — продолжительность процесса, с.

Граничные условия сформулированы из предположения, что в начальный момент экстракции в растворителе отсутствовали экстрактивные вещества, что соответствует периодическому способу извлечения. В конечный момент времени концентрация принята равной равновесной, определяемой эмпирическим способом. Изменение массового расхода целевых веществ описывается линейным уравнением  $M(\tau) = a\tau + 0$ .

С учетом сделанных предположений, уравнение (6) принимает вид:

$$q_{\Pi}(\tau) = \frac{d(a \cdot \tau)}{d\tau} \cdot \frac{1}{F} = a \cdot F^{-1}, \quad (7)$$

где  $a$  — коэффициент, отражающий скорость переноса массы вещества в ядро экстрагента, кг/с.

Площадь контакта поверхности частиц растительного сырья с экстрагентом, в случае формы в виде тонкой пластины, находится в виде:

$$F = S_{\text{ч}} k_{\text{ч}}, \quad (8)$$

где  $S_c$  — поверхность одной частицы,  $m^2$ ;  $k_c$  — число элементарных объемов, соприкасающихся с экстрагентом, шт.

### Анализ графических зависимостей адаптированной модели массопереноса

Проведено численное решение математической модели массопереноса (1) применительно к объекту исследования, для двух вариантов метода экстрагирования (при воздействии СВЧ излучения (+) и без него (-)), относительно приведенной массы исходного растительного сырья в один килограмм. Параметры, принятые для решения дифференциального уравнения (7) численным методом, представлены в Таблице 3.

В результате решения модели (7) переноса целевых веществ из корневого цикория в прикладном пакете *Mathcad* построены зависимости изменения

полей концентраций целевого вещества по глубине пластины в зависимости от продолжительности без воздействия (а) и с воздействием (б) СВЧ-излучения (Рисунок 3).

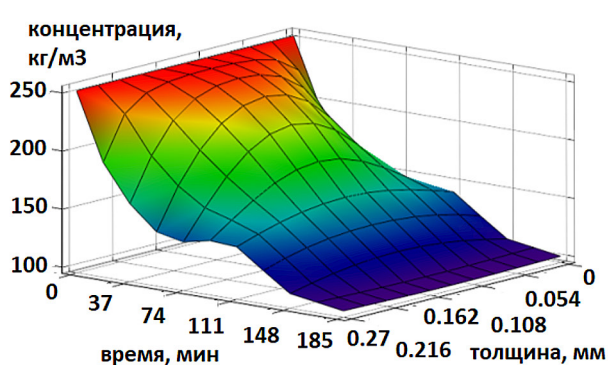
Как следует из полученных графических зависимостей (Рисунок 3), среднеобъемная концентрация растворимых в экстрагенте веществ в частицах растительного сырья уменьшается до равновесной за 185 минут при обычной мацерации, а при СВЧ воздействии — за 7 минут, что подтверждает сделанное предположение о возможности интенсификации процесса.

Выявленный механизм массопереноса ранее описан в проведенном исследовании по экстракции с использованием микроволн тканей клубней топинамбура (0,5 кг) с водой (1,5 л) (Sarkar et al., 2020). Показано, что увеличение мощности облучения до 900 Вт при увеличении температуры до 90 °С не обеспечивает лучшего выхода инулина. Таким

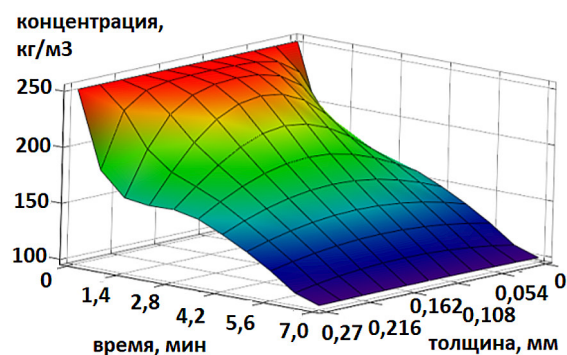
**Таблица 3**  
Параметры модели процесса экстрагирования  
**Table 3**  
Parameters of the Extraction Process Model

СВЧ	Масса сырья, кг	Площадь межфазной поверхности, $m^2$	Коэффициент молекулярной диффузии, $m^2/c$	Скорость переноса массы, кг/с	Коэффициент массоотдачи, м/с
-	1	8,65	$2,217 \cdot 10^{-12}$	$1,6 \cdot 10^{-5}$	$1,349 \cdot 10^{-8}$
+	1	8,65	$5,535 \cdot 10^{-11}$	$4,2 \cdot 10^{-4}$	$3,446 \cdot 10^{-7}$

**Рисунок 3**  
Изменение полей концентрации экстрактивных веществ в объеме растительного сырья  
**Figure 3**  
Changes in the Concentration Fields of Extractive Substances Within the Volume of Plant Raw Materials



(а) метод мацерации



(б) метод СВЧ-излучения

образом сделано обобщение, что при меньшей температуре и мощности достигается лучшая чистота экстрагированного инулина.

Представленные результаты согласуются с данными Zhenzhou et al. (2016), где получены данные по увеличению выхода инулина на 20% при СВЧ обработке, чем при методе экстракции горячей водой. В тоже время авторами установлена оптимальная продолжительность в 6 минут, что меньше полученного времени обработки в нашем исследовании. Данное отличие может быть объяснено большей мощностью (450 Вт) источника облучения.

Анализ решения модели массопереноса, а также трехмерных графиков, позволяет предположить, что при любой продолжительности массообменного процесса существуют перепады концентрации растворимых в экстрагенте веществ в объеме растительной частицы. Данное явление можно объяснить, на наш взгляд тем, что существует область инерционности распространения энергии при массопереносе внутри фазы, которая уменьшается на границе раздела фаз вплоть до равновесного состояния.

Наличие граничных концентрационных скачков в течении всего процесса можно объяснить превалированием скорости уноса с поверхностных слоев переносимого компонента к скорости его доставки к поверхности. Эти перепады с увеличением времени сглаживаются, ввиду выравнивания концентрации целевых веществ на границе и в ядре экстрагента, вследствие уменьшения движущей силы массопереноса до ее предельных значений.

### Ограничения исследования

Часто используемые методы повышения выхода целевых фракций биоактивных растительных соединений основаны на активных способах создания потоков растворителя. Экстрагирование фитоконпонентов является сложной технической задачей, связанной с выбором растворителя, необходимостью учета свойств исходного материала, размеров частиц, условий перемешивания фаз и массообмена. Микроволновая экстракция используется в широком диапазоне частот от 300 МГц до 300 ГГц и с длиной волны от 1 мм до 1 м, однако в данном исследовании частота ограничена на уровне

2450 МГц при длине волны 12 см, отчасти эти ограничения вызваны опасностью избыточного разрушения клеточных мембран при кавитационном кипении, но в большей степени несовершенством технологического уровня оборудования. В исследовании решалась одномерная задача нахождения нестационарных полей концентраций для тонкой пластины, чем сужается область применения модели и ее решения. Однако полученные прогнозные кинетические характеристики станут стимулом для построения адекватной теоретической модели для реальных растительных объектов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты работы демонстрируют преимущества применения СВЧ облучения для ускорения механизма массопереноса экстрактивных веществ из ядра носителя к разделу фаз применительно к корням цикория. Обработка СВЧ облучением мощностью 180 Вт позволяет достичь сопоставимые значения концентраций экстрактивных веществ, в сравнении с методом мацерации, за 7 минут. Численное решение адаптированной модели массопереноса показало, что значение коэффициента молекулярной диффузии увеличивается при СВЧ обработке до  $5,535 \cdot 10^{11} \text{ м}^2/\text{с}$ , таким образом ускоряется диффузия целевых компонентов в 25 раз.

Приведенные расчеты будут полезны при подборе экстракционных аппаратов, а также для анализа технологических параметров извлечения экстрактивных веществ корней цикория. Разработанная модель и графические зависимости технологических параметров извлечения экстрактивных компонентов из измельченного растительного сырья позволят ученым и практикующим специалистам выбрать лучшие методы экстракции при варьировании краевых условий проведения процесса. Тем не менее, существует необходимость в поиске доступных дополнительных технологических приемов для дальнейшего повышения выхода биоактивных соединений при предварительной обработке сырья. Необходимы дополнительные научные исследования для предоставления надежных оценок влияния кавитационных эффектов на показатели качества экстрактов, особенно учитывая потенциальное применение в пищевых продуктах пребиотической направленности.

## АВТОРСКИЙ ВКЛАД

**Альберт Хамед-Харисович Нугманов:** формулирование замысла, разработка методологии исследования, создание моделей.

**Игорь Алексеевич Бакин:** получение финансирования, написание первоначального черновика рукописи.

**Анна Сабирдзяновна Мустафина:** подготовка, создание и презентация опубликованной работы, проверка результатов исследования.

**Полина Николаевна Шаповалова:** применение математических методов для анализа данных результатов исследования.

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

**Albert Kh.-Kh. Nugmanov:** conceptualization, methodology.

**Igor A. Bakin:** funding acquisition, writing - original draft preparation.

**Anna S. Mustafina:** visualization, validation.

**Polina N. Shapovalova:** formal analysis.

## ЛИТЕРАТУРА/ REFERENCES

- Андреева, Е.В., Евсеева, С.С., Алексанян, И.Ю., & Нугманов, А.Х.-Х. (2020). Определение характеристик плодово-ягодного сырья и промежуточных продуктов технологии пигментных экстрактов. *Вестник КрасГАУ*, 10(163), 181–189. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-10-181-189>
- Andreeva, E.V., Evseeva, S.S., Aleksanyan, I.Yu., & Nugmanov, A.Kh.-Kh. (2020). Characterization of fruit and berry raw materials and intermediate products of pigment extract technology. *Bulletin of KrasGAU*, 10(163), 181–189. (In Russ.) <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-10-181-189>
- Бакин, И.А., Мустафина, А.С., Алексенко, Л.А., & Лунин, П.Н. (2014). Исследование технологических процессов получения экстрактов ягод черной смородины. *Вестник КрасГАУ*, 12(99), 227–230.
- Bakin, I.A., Mustafina, A.S., Aleksenko, L.A., & Lunin, P.N. (2014). Research of technological processes for obtaining extracts of black currant berries. *Bulletin of KrasGAU*, 12(99), 227–230. (In Russ.)
- Бызов, В.А., Пучкова, Т.С., & Пихало, Д.М. (2023). Оценка показателей качества клубней топинамбура для переработки на инулин и его производные. *Пищевая промышленность*, (4), 58–62. <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.4.4.010>
- Byzov, V.A., Puchkova, T.S., & Pikhalo, D.M. (2023). Assessment of the quality indicators of Jerusalem artichoke tubers for processing into inulin and its derivatives. *Food Industry*, (4), 58–62. (In Russ.) <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.4.4.010>
- Вьютнова, О.М., & Новикова, И.А. (2019). Химический состав корнеплодов цикория. *Овощи России*, (1), 83–85. <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-1-83-85>
- V'yutnova, O.M., & Novikova, I.A. (2019). Chemical composition of chicory roots. *Vegetables of Russia*, (1), 83–85. (In Russ.) <https://doi.org/10.18619/2072-9146-2019-1-83-85>
- Гулюк, Н.Г., Лукин, Н.Д., Пучкова, Т.С., Пихало, Д.М., & Гулакова, В.А. (2017). Об очистке экстракта из инулинсодержащего сырья. *Пищевая промышленность*, (2), 24–26.
- Gulyuk, N.G., Lukin, N.D., Puchkova, T.S., Pikhalo, D.M., & Gulakova, V.A. (2017). On the purification of extract from inulin-containing raw materials. *Food Industry*, (2), 24–26. (In Russ.)
- Гулюк, Н.Г., Пучкова, Т.С., Пихало, Д.М., Гулакова, В.А., & Коваленок, В.А. (2014). Исследование процесса диффузии инулина из клубней топинамбура. *Достижения науки и техники АПК*, (12), 67–69.
- Gulyuk, N.G., Puchkova, T.S., Pikhalo, D.M., Gulakova, V.A., & Kovalenok, V.A. (2014). Investigation of the inulin diffusion process from Jerusalem artichoke tubers. *Achievements of Science and Technology of the Agroindustrial Complex*, (12), 67–69. (In Russ.)
- Данилин, С.И., Родионов, Ю.Ю., Родионов, Ю.В., Чумиков, Ю.А., & Скоморохова, А.И. (2020). Совершенствование технологии получения порошков из растительного сырья. *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания*, (4), 150–159.
- Danilin, S.I., Rodionov, Yu.Yu., Rodionov, Yu.V., Chumikov, Yu.A., & Skomorokhova, A.I. (2020). Improving the technology of obtaining powders from vegetable raw materials. *Technologies of the Food and Processing Industry of the Agro-Industrial Complex — Healthy Food Products*, (4), 150–159. (In Russ.)
- Кайшев, В.Г., Лукин, Н.Д., Серегин, С.Н., & Корниенко, А.В. (2018). Рынок инулина в России: возможности развития сырьевой базы и необходимые ресурсы для создания современного отечественного производства. *Пищевая промышленность*, (5), 8–17.
- Kaishev, V.G., Lukin, N.D., Seregin, S.N., & Kornienko, A.V. (2018). The inulin market in Russia: Opportunities for the development of the raw material base and the necessary

- resources to create modern domestic production. *Food Industry*, (5), 8–17. (In Russ.)
- Титова, Л.М., & Александян, И.Ю. (2016). Технология инулина: основные тенденции развития отрасли и спорные вопросы. *Пищевая промышленность*, (1), 46–51.
- Titova, L.M., & Aleksanyan, I.Yu. (2016). Inulin technology: The main trends in the development of the industry and controversial issues. *Food Industry*, (1), 46–51. (In Russ.)
- Широков, Е.П. (1985). Практикум по технологии хранения и переработки плодов и овощей. Москва: Агропромиздат.
- Shirokov, E.P. (1985). Workshop on technology of storage and processing of fruits and vegetables. Moscow: Agropromizdat. (In Russ.)
- Ankan, K., Yograj, B., Anchal, A., Samandeep, K., Yogesh, K., & Rachna, S. (2023). Utilization of inulin as a functional ingredient in food: Processing, physicochemical characteristics, food applications, and future research directions. *Food Chemistry Advances*, 3, 100443. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100443>
- Chemat, F., Rombaut, N., Meullemiestre, A., Turk, M., Perino, S., Fabiano-Tixier, A.-S., & Abert-Vian, M. (2017). Review of green food processing techniques: Preservation, transformation, and extraction. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 41, 357–377. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.04.016>
- Demirci, K., Zungur-Bastioğlu, A., Görgüç, A., Bayraktar, B., Yılmaz, S., & Yılmaz, F. M. (2023). Microwave irradiation, evolutionary algorithm and ultrafiltration can be exploited in process intensification for high-purity and advanced inulin powder production. *Chemical Engineering and Processing—Process Intensification*, 194, 109565. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2023.109565>
- Jiang, X., Sotowa, K.-I., Tonomura, O., & Oh, T. H. (2023). Investigation of mass transfer in valve-controlled gas–liquid segmented flow. *Chemical Engineering and Processing—Process Intensification*, 194, 109578. <https://doi.org/10.1016/j.cep.2023.109578>
- Kanakasabai, P., Sivamani, S., Banerjee, S., Vijay, P., & Thirumavalavan, K. (2023). Identification of optimal conditions for the extraction of inulin from chicory. *Materials Today: Proceedings*, 92(2), 737–741. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.246>
- Laurenzo, K. S., Navia, J. L., & Neiditch, D. S. (1999). Preparation of inulin products: *U.S. Pat. 5968365*.
- Lingyun, W., Jianhua, W., Xiaodong, Z., Da, T., Yalin, Y., Chenggang, C., Tianhua, F., & Fan, Z. (2007). Studies on the extracting technical conditions of inulin from Jerusalem artichoke tubers. *Journal of Food Engineering*, 79(3), 1087–1093. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.03.028>
- Mangguali, M., Meta, M., & Syarifuddin, A. (2024). Study of inulin content and extraction methods in several types of tubers: Review paper. *BIO Web of Conferences*, 96, 01031. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20249601031>
- Milic, A., Daničić, T., Tepić Horecki, A., Šumić, Z., Teslić, N., Bursać Kovačević, D., Putnik, P., & Pavlić, B. (2022). Sustainable extractions for maximizing content of antioxidant phytochemicals from black and red currants. *Foods*, 11, 325. <https://doi.org/10.3390/foods11030325>
- Ozcan, B. E., Tetik, N., & Aloglu, H. S. (2024). Polysaccharides from fruit and vegetable wastes and their food applications: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 276(2), 134007. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.134007>
- Özcan, F. Ş., Dikmen, H., Özcan, N., Çetin, Ö., Çelik, M., & Trendafilova, A. (2024). Microwave-assisted extraction optimization of sesquiterpene lactones from *Inula helenium* roots: A sustainable approach to reduce energy consumption and carbon footprint. *Food Science & Nutrition*, 12(1), 255–267. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3775>
- Petkova, N. T., Sherova, G., & Denev, P. P. (2018). Characterization of inulin from dahlia tubers isolated by microwave and ultrasound-assisted extractions. *International Food Research Journal*, 25(5), 1876–1884.
- Redondo-Cuenca, A., Herrera-Vázquez, S. E., Condezo-Hoyos, L., Gómez-Ordóñez, E., & Rupérez, P. (2021). Inulin extraction from common inulin-containing plant sources. *Industrial Crops and Products*, 170, 113726. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113726>
- Ruiz-Aceituno, L., García-Sarrió, M. J., Alonso-Rodríguez, B., Ramos, L., & Sanz, M. L. (2016). Extraction of bioactive carbohydrates from artichoke (*Cynara scolymus* L.) external bracts using microwave-assisted extraction and pressurized liquid extraction. *Food Chemistry*, 196, 1156–1162. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.10.046>
- Saengthongpinit, W., & Sajjaanantakul, T. (2005). Influence of harvest time and storage temperature on characteristics of inulin from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) tubers. *Postharvest Biology and Technology*, 37(1), 93–100.
- Sarkar, R., Bhowmik, A., Kundu, A., Dutta, A., Nain, L., Chawla, G., & Saha, S. (2021). Inulin from *Pachyrhizus erosus* root and its production intensification using evolutionary algorithm approach and response surface methodology. *Carbohydrate Polymers*, 251, 117042. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117042>
- Toneli, J. T. C. L., Park, K. J., Ramalho, J. R. P., Murr, F. E. X., & Fabbro, I. M. D. (2008). Rheological characterization of chicory root (*Cichorium intybus* L.) inulin solution. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 25, 461–471. <https://doi.org/10.1590/S0104-66322008000300004>
- Tsubaki, S., Onda, A., Hiraoka, M., Fujii, S., Azuma, J., & Wada, Y. (2017). Microwave-assisted water extraction of carbohydrates from unutilized biomass. In *Water Extraction of Bioactive Compounds* (pp. 199–219). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809380-1.00007-3>
- Zhang, X., Zhu, X., Shi, X., Hou, Y., & Yi, Y. (2022). Extraction and purification of inulin from Jerusalem artichoke with response surface method and ion exchange resins. *ACS Omega*, 7(14), 12048–12055. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c00302>
- Zhenzhou, Z., He, J., Gang, L., Francisco, J., Mohamed, B., Luhui, K., Ding, O., Bals, N., & Vorobiev, E. (2016). Recent insights for the green recovery of inulin from plant food materials using non-conventional extraction technologies: A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 33, 47. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.12.023>

# Влияние природы сахаросодержащих продуктов на процесс вторичного брожения

ВНИИПБиВП – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М.Горбатова» Российской академии наук, Российская Федерация

Л. И. Розина, В. А. Трофимченко

## КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

**Лариса Ильинична Розина**  
E-mail: rozina.larisa@yandex.ru

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Розина, Л. И., & Трофимченко, В. А. (2024). Влияние природы сахаросодержащих продуктов на процесс вторичного брожения. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(4), 45-54. <https://doi.org/10.36107/spfr.2024.4.590>

**ПОСТУПИЛА:** 03.03.2024

**ДОРАБОТАНА:** 12.11.2024

**ПРИНЯТА:** 16.11.2024

**ОПУБЛИКОВАНА:** 27.12.2024

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.



## АННОТАЦИЯ

**Введение:** Использование белого сахара для приготовления тиражных и экспедиционных ликеров – основных составляющих игристых вин, требует дополнительных производственных затрат, что приводит к повышению себестоимости продукции. Одним из путей решения данной проблемы является поиск альтернативного сахаросодержащего сырья.

**Цель:** Изучение влияния нового вида сахаросодержащего сырья на процесс вторичного брожения при производстве игристых вин классическим бутылочным способом.

**Материалы и методы.** Объектами исследований являлись контрольные образцы тиражных смесей, содержащие тиражный ликер, приготовленный с добавлением белого сахара, и опытные образцы, содержащие тиражный ликер, приготовленный с добавлением глюкозно-фруктозного сиропа (ГФС). В процессе вторичного брожения контролировали давление диоксида углерода в бутылках и микробиологическое состояние тиража.

**Результаты:** Процесс вторичного брожения в образцах протекал с различной интенсивностью и зависел от физико-химического состава исходной тиражной смеси и природы использованного сахаросодержащего сырья. В процессе вторичного брожения наблюдалось постепенное повышение давления диоксида углерода в бутылках. Наиболее интенсивно его рост проходил в опытных образцах, содержащих тиражный ликер, приготовленный с добавлением ГФС. Также установлено, что опытные тиражные смеси забраживали быстрее, концентрация дрожжевых клеток в них была выше в среднем на 10–15 %, а процесс вторичного брожения завершился на 30-е сутки эксперимента. В контрольных образцах прекращение брожения было отмечено на 40-е сутки.

**Выводы:** Использование ГФС при производстве белых игристых вин классическим бутылочным способом приводит к интенсификации процесса вторичного брожения, что позволяет сократить его продолжительность с улучшением качественных характеристик продукции, и тем самым снизит производственные затраты и повысит конкурентоспособность игристого вина.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

игристое вино; белый сахар; глюкозно-фруктозный сироп (ГФС); тиражный ликер; тиражная смесь; вторичное брожение; интенсивность брожения; давление диоксида углерода; микробиологическое состояние тиража; концентрация дрожжевых клеток; себестоимость продукции; классический бутылочный метод

# Influence of the Nature of Sugar-Containing Products on the Secondary Fermentation Process

All-Russian Research Institute of Grain and Products of Its Processing – branch of the Federal Research Centre of Food Systems named after V.M. Gorbатов, Russian Academy of Science, Russian Federation

Larisa I. Rozina, Vladimir A. Trofimchenko

## CORRESPONDENCE:

Larisa I. Rozina,

E-mail: rozina.larisa@yandex.ru

## FOR CITATIONS:

Rozina, L. I., & Trofimchenko, V. A. (2024). Influence of the nature of sugar-containing products on the secondary fermentation process. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(4), 45-54. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.4.590>

RECEIVED: 03.03.2024

REVISED: 12.11.2024

ACCEPTED: 16.11.2024

PUBLISHED: 27.12.2024

## DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



## ABSTRACT

**Introduction:** The use of white sugar for the preparation of tirage and expedition liqueurs, the main components of sparkling wines, requires additional operating costs, which leads to an increase in the cost of production. One of the ways to solve this problem is to search for alternative sugar-containing raw materials.

**Purpose:** To study the influence of a new type of sugar-containing raw materials on the process of secondary fermentation in the production of sparkling wines by the classic bottled method.

**Materials and Methods:** The objects of research were control samples of tirage mixtures containing tirage liquor prepared with the addition of white sugar, and experimental samples containing tirage liquor prepared with the addition of glucose-fructose syrup (GFS). During the secondary fermentation, the pressure of carbon dioxide in bottles and the microbiological state of the circulation were monitored.

**Results:** The process of secondary fermentation in the samples proceeded with varying intensity and depended on the physico-chemical composition of the initial batch mixture and the nature of the sugar-containing raw materials used. During the secondary fermentation, a gradual increase in the pressure of carbon dioxide in the bottles was observed. Its growth was most intense in experimental samples containing a tirage liqueur prepared with the addition of GFS. It was also found that the experimental batch mixtures fermented faster, the concentration of yeast cells in them was 10-15% higher on average, and the secondary fermentation process ended on the 30th day of the experiment. In the control samples, fermentation stop was noted on the 40th day.

**Conclusion:** The use of GFS in the production of white sparkling wines by the classic bottled method leads to an intensification of the secondary fermentation process, which reduces its duration with improved product quality characteristics, and thereby reduces production costs and increases the competitiveness of sparkling wine.

## KEYWORDS

sparkling wine; white sugar; glucose-fructose syrup (GFS); tirage liqueur; tirage mixture; secondary fermentation; fermentation intensity; carbon dioxide pressure; microbiological state of the tirage; yeast cell concentration; production cost; traditional bottle-fermentation method

## ВВЕДЕНИЕ

В России и за рубежом игристые вина чаще всего производят путем вторичного брожения вина в резервуарах периодическим способом (метод Charmat) или непрерывным способом, или классическим бутылочным способом (метод Champenoise) (Just-Borràs et al., 2024; Неровных и соавторы., 2017; Неровных и соавт., 2017). Так называемый «метод Асти» представляет собой модифицированную версию метода Charmat, при котором виноградное сусло ферментируют в резервуарах из нержавеющей стали под давлением. При этом вторичное брожение не проводится (Caliari, 2015). Существует также технология производства игристого вина методом перемещения (трансвазирование, бутылочно-фильтрационный способ). Метод схож с классическим, но минуются стадии ремюажа и дегоржажа, а после вторичного брожения в бутылке и короткого периода выдержки игристое вино вместе с осадком перекачивается в резервуар под давлением. Затем вино фильтруется также под давлением и подается на розлив. Обычно этот метод применяют при розливе игристого вина в маленькие бутылки (до 185 мл) и бутылки большого объема (от трех литров) (Cravero, 2023).

Несмотря на различия в перечисленных способах производства игристых вин, во всех, в качестве сахаросодержащего сырья для вторичного брожения и для достижения в готовой продукции кондиции требуемой по сахару, как правило, используют белый сахар, из которого, предварительно готовят тиражный и экспедиционный ликеры (Kemp et al., 2017; Жёди, 2014). Данная технологическая стадия приготовления этих составляющих требует определенных производственных затрат, что, в свою очередь, увеличивает себестоимость готовой продукции (Томгорова & Трофимченко, 2024; Трофимченко и соавт., 2019, Cisilotto et al., 2023). Снизить затраты и оптимизировать технологические процессы при производстве игристых вин возможно путем замены привычного сахаросодержащего сырья перспективными альтернативными источниками. Кроме того, использование белого сахара в технологии игристых вин может оказывать отрицательное влияние на стабильность готовой продукции (Ribéreau-Gayon et al., 2021).

В различных отраслях пищевой промышленности, наряду с белым сахаром, в качестве альтернатив-

ного сахаросодержащего сырья, применяют в том числе глюкозно-фруктозные сиропы (ГФС), получаемые путем глубокой переработки различного крахмалсодержащего природного сырья (Канарская, 2012; Лукин и соавт., 2021; Мамедов & Баранкова, 2020; Кузьмина и соавт., 2022). ГФС получают путем изомеризации части D-глюкозы крахмала в D-фруктозу, поэтому по сладости и питательной ценности они близки к сахарозе (Paulino et al., 2021). В России ГФС широко используют в кондитерской, хлебопекарной, молочной, консервной промышленности, а также при производстве кваса, безалкогольных напитков и в пивоварении (Аксенов, 2012; Зайнуллин и соавт., 2013; Аксенов, 2007; Гольдштейн и соавт., 2018; Андреев и соавт., 2014; Ермолаева & Сапронова, 2012; Чусова и соавт., 2014; Колобаева и соавт., 2017). Рассмотрены перспективы использования ГФС при производстве сидров, пуаре и другой плодовой алкогольной продукции (Панасюк и соавт., 2022a; Панасюк и соавт., 2022b), а также спиртных напитков виноградного происхождения (Песчанская и соавт., 2020; Андриевская и соавт., 2021).

Изучая влияние различных видов сахара (глюкозы, фруктозы и сахарозы) в полусухих игристых винах и игристых винах брют на их аромат и вкус, (McMahon et al., 2017) установили, что вина с фруктозой и сахарозой обладали более выраженными карамельными, медовыми и ванильными ароматами, по сравнению с теми, где была использована глюкоза. (Crumpton et al., 2018) показали, что увеличение содержания сахарозы (тростникового сахара) до 31 г/дм<sup>3</sup> в игристых винах способствовало улучшению пенообразования, но снижению их стабильности, возможно, из-за изменения вязкости вина. (Wilson et al., 2022) изучили влияние типа сахара (тростникового и свекловичного) на качественные показатели игристого вина и обосновали, что тип сахара, используемого для вторичного брожения при производстве игристых вин, может оказывать влияние на содержание летучих веществ в вине, но при этом незначительно влияет в целом на его химический состав. Свекловичный сахар увеличил количество некоторых летучих соединений в игристых винах, вероятно, из-за содержащихся в нем жирных кислот, образующихся в процессе его производства. В частности, отмечено увеличение содержания фенилэтилового спирта, обладающего цветочным ароматом с оттенком розы (Ferreira et al., 2000).

Целью настоящего исследования являлось изучение влияния природы сахаросодержащего сырья на процесс вторичного брожения при производстве игристых вин классическим бутылочным способом.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Объекты исследования

Объектами исследования являлись образцы тиражных смесей на основе обработанных сухих белых виноматериалов Шардоне.

В соответствии с ГОСТ 33311–2015 были приготовлены две серии тиражных смесей с различным содержанием сахаров. В качестве сахаросодержащего продукта в опытных образцах использовали тиражный ликер, приготовленный с добавлением глюкозно-фруктозного сиропа марки «ГФС-70» (О1, О2, О3), в контрольных — тиражный ликер, приготовленный с добавлением белого сахара (К1, К2, К3).

Во все образцы тиражных смесей перед брожением вносили также дрожжевую разводку, приготовленную из препарата активных сухих дрожжей (АСД) «Litto Levure Elegance» (Германия), 20%-ную водную суспензию бентонита до концентрации 0,2 г/дм<sup>3</sup> и питательные вещества для дрожжей в виде препарата «Биоклин» из расчета 0,3 г/дм<sup>3</sup>.

### Методы

Для определения физико-химических показателей тиражных смесей использовали общепринятые в энохимии методы анализа, согласно действующим стандартам и методикам, утвержденным в установленном порядке.

Величину рН и окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) определяли с помощью лабораторного рН-метра «рН 211» («HANNA Instruments», Германия). Качественный и количественный состав сахаров определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) на приборе «Agilent Technologies 1200 Series» («Agilent», США). Определение аминного азота проводили йодометрическим методом, аммиачного азота — диффузионным методом. Органо-

лептическую оценку исследуемых образцов осуществляли в соответствии с требованиями ГОСТ 32051–2013.

Микробиологический контроль осуществляли методами, принятыми в технологии виноделия (Инструкция по микробиологическому контролю винодельческого производства ИК 9170–1128–00334600–07). Микроскопирование проводили с помощью биологического микроскопа «DMBA 300» («Digital Biological Microscope», «Motic», Испания). Для подсчета количества дрожжевых клеток использовали счетную камеру Горяева.

Вторичное брожение проводили при температуре 12–14 °С. Давление двуокиси углерода в бутылках измеряли афрометром.

### Анализ данных

Все испытания проводили не менее трех раз. Результат определяли в виде среднего арифметического полученных значений. Для подтверждения достоверности полученных результатов проводили статистический анализ с использованием пакета программ Statistics. Критический уровень значимости нулевой статистической гипотезы (р) принимали равным 0,05.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

На первом этапе работы было проведено исследование влияния природы сахаросодержащих продуктов на качественные характеристики тиражных ликеров. Все образцы приготовленные как с добавлением белого сахара, так и ГФС, по нормируемым физико-химическим показателям соответствовали требованиям ГОСТ 33311–2015.

### Качественные характеристики тиражных смесей, приготовленных с использованием глюкозно-фруктозного сиропа

Сравнительный анализ физико-химических и органолептических показателей опытных и контрольных образцов тиражных смесей не выявил существенных различий по нормируемым показателям.

**Таблица 1**

Качественный и количественный состав сахаров образцов тиражной смеси

**Table 1**

Qualitative and Quantitative Composition of Sugars of Tirage Mixture Samples

Наименование показателя	Образец тиражной смеси					
	K1	O1	K2	O2	K3	O3
Массовая концентрация сахарозы, мг/дм <sup>3</sup>	15,0	–	13,9	–	8,6	–
Массовая концентрация глюкозы, мг/дм <sup>3</sup>	5,0	8,2	4,2	7,3	3,5	4,9
Массовая концентрация фруктозы, мг/дм <sup>3</sup>	4,3	15,4	3,6	14,8	3,2	10,6

При этом опытные образцы отличались от контрольных по качественному и количественному составу сахаров (Таблица 1)

Так, образцы тиражных смесей, в составе которых был тиражный ликер, приготовленный с добавлением ГФС, содержали значительно большие концентрации фруктозы и не содержали сахарозы. В то время как в контрольных образцах, приготовленных с использованием тиражного ликера с добавлением белого сахара, количество сахарозы составило более 50%. Кроме того, опытные образцы тиражных смесей имели более выраженные цветочные оттенки в аромате и отличались мягкостью во вкусе, по сравнению с контрольными образцами.

### Сравнительный анализ результатов вторичного брожения тиражных смесей, приготовленных на основе глюкозно-фруктозного сиропа и белого сахара

Одним из важных компонентов тиражной смеси является дрожжевая разводка. Анализ ее микробиологического состояния перед внесением в тиражную смесь показал, что она соответствовала требованиям, предъявляемым к дрожжевой разводке: количество дрожжевых клеток составляло не менее  $80 \times 10^6$  в 1 см<sup>3</sup>, из них почкующихся было — не менее 30%, мертвых — не более 5%; посторонние микроорганизмы (дикие дрожжи, уксуснокислые и молочнокислые бактерии) не обнаружены.

В процессе вторичного брожения каждые 10 дней осуществляли контроль давления диоксида угле-

рода в бутылках и микробиологического состояния бродящей тиражной смеси. Продолжительность процесса вторичного брожения составила 30–40 суток. Окончание брожения фиксировали по прекращению изменения величины давления диоксида углерода в бутылке.

В ходе вторичного брожения наблюдалось постепенное повышение давления в бутылках, причем в течение первых 20 суток оно росло наиболее интенсивно (Рисунок 1).

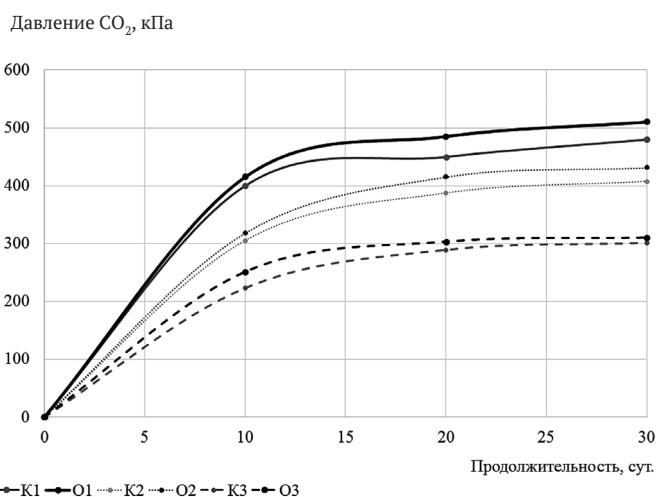
Затем отмечалось снижение интенсивности его роста, что обусловлено практически полным по-

**Рисунок 1**

Изменение давления диоксида углерода в бутылках в процессе вторичного брожения опытных и контрольных образцов тиражных смесей

**Figure 1**

Changes in Carbon Dioxide Pressure in Bottles during Secondary Fermentation of Experimental and Control Tirage Mixture Samples



треблением дрожжами сахаров, содержащихся в кюве, и повышением давления диоксида углерода в бутылке. Наиболее интенсивно рост давления диоксида углерода проходил в опытных образцах, содержащих в составе тиражный ликер, приготовленный с добавлением глюкозно-фруктозного сиропа.

Таким образом тиражные смеси, в состав которых входил тиражный ликер с ГФС, забраживали быстрее, накопление диоксида углерода проходило более интенсивно, процесс вторичного брожения завершился на 30-е сутки проведения эксперимента, что во многом обусловлено качественным составом сахаров тиражной смеси. В контрольных образцах прекращение брожения было отмечено на 40-е сутки.

### Микробиологический контроль стадии вторичного брожения

Анализ результатов микробиологического контроля тиражных смесей показал, что во всех образцах (как в контрольных, так и в опытных) винные дрожжи присутствовали в достаточном количестве для обеспечения процесса вторичного брожения и полного сбраживания сахаров (Таблица 2).

В опытных образцах, содержащих в составе тиражный ликер, приготовленный с добавлением глюкозно-фруктозного сиропа, концентрация дрожжевых клеток была выше в среднем на 10–15 %.

**Таблица 2**

Микробиологический контроль процесса шампанизации белых вин

**Table 2**

Microbiological Control of the Champagnization Process of White Wines

Образец	Продолжительность процесса, сут.	Показатель			
		конц. дрожжей, кл./см <sup>3</sup> ×10 <sup>6</sup>	клеток дрожжей в поле зрения, шт.	почкующиеся клетки, %	мертвые клетки, %
К1	10	9,7	36	13	8
	20	4,2	17	5	15
	30	2,5	10	0	50
О1	10	10,0	40	16	6
	20	4,6	20	0	12
	30	2,3	9	0	48
К2	10	14,6	50	23	11
	20	4,2	15	8	16
	30	3,5	14	0	36
О2	10	18,3	63	25	28
	20	6,6	24	0	35
	30	1,9	8	0	37
К3	10	6,4	27	12	18
	20	2,1	8	10	20
	30	1,3	5	0	60
О3	10	8,7	33	18	34
	20	2,5	10	0	38
	30	1,2	3	0	67

Использование глюкозно-фруктозного сиропа в составе тиражного ликера не оказало отрицательного влияния на микробиологическое состояние кюве: опытные образцы, также, как и контрольные, не содержали клеток посторонней микрофлоры (диких дрожжей, УКБ и МКБ).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты, полученные в ходе проведенных экспериментов, подтвердили перспективность применения альтернативных источников сахаросодержащего сырья, таких как глюкозно-фруктозный сироп (ГФС), для приготовления тиражных смесей в технологии производства игристых вин. Эти данные находятся в согласии с выводами предыдущих исследований (Cravero, 2023). В частности, Саришвили & Рейтблата (2000) установили, что высокая концентрация сахарозы оказывает негативное влияние на интенсивность развития дрожжей и замедляет процесс брожения при шампанизации. На основании этих исследований в рамках нашего эксперимента было обосновано использование ГФС, которое продемонстрировало отсутствие отрицательного влияния на качественные показатели тиражной смеси. Более того, исключение сахарозы из состава опытных образцов оказалось положительным фактором, что подтверждается результатами стадии вторичного брожения. Так, продолжительность брожения в образцах с использованием ГФС сократилась на 10 суток по сравнению с контрольными образцами, содержащими белый сахар.

Биохимический состав игристых вин подробно изучался в работах Martínez-Rodríguez et al. (2001) и Ubeda et al. (2019). Установлено, что в процессе ферментации под действием дрожжевых ферментов в вине возрастает концентрация таких компонентов, как аминокислоты, жирные кислоты, витамины, а также летучие соединения, ответственные за формирование аромата и вкуса. Результаты нашего исследования показали, что в опытных образцах, приготовленных с использованием ГФС, наблюдалась повышенная концентрация дрожжевых клеток, что способствовало интенсификации процесса вторичного брожения и улучшению органолептических характеристик готового продукта. Это согласуется с выводами зарубежных исследований, свидетельствующих о том, что сокращение

длительности брожения способствует улучшению качества продукции, снижению производственных затрат и повышению конкурентоспособности игристого вина.

Дополнительным преимуществом использования ГФС стало отсутствие посторонней микрофлоры в образцах кюве. Этот эффект связан с особенностями технологии производства сиропа, включающей многоступенчатую очистку до и после изомеризации, что обеспечивает минимальное содержание примесей (Лукин и соавт., 2017).

Все исследованные образцы игристых вин соответствовали требованиям ГОСТ 33336–2015. Органолептическая оценка показала некоторое преимущество образцов, изготовленных с использованием ГФС, что подчеркивает его потенциал как качественного сахаросодержащего компонента.

В перспективе целесообразно проведение дополнительных исследований, направленных на изучение возможности применения ГФС в качестве сырья для приготовления экспедиционного ликера, добавляемого после шампанизации, с целью производства игристых вин различных категорий по массовой концентрации сахаров.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования была показана возможность использования глюкозно-фруктозного сиропа при производстве игристых вин классическим бутылочным способом. Замена белого сахара на глюкозно-фруктозный сироп в составе тиражного ликера оказывает положительное влияние на качественные характеристики тиражных смесей, и не оказывает отрицательного влияния на их микробиологическое состояние. Отмечено положительное влияние ГФС на органолептические свойства готовой продукции: более сложный аромат, хорошо выраженные пенистые и игристые свойства, большая мягкость во вкусе. На следующем этапе работы целесообразно исследовать возможность использования ГФС в качестве сахаросодержащего сырья при приготовлении экспедиционного ликера, а также для получения игристых вин разных категорий.

## АВТОРСКИЙ ВКЛАД

**Лариса Ильинична Розина:** руководство и проведение исследований; обработка результатов экспериментов, валидация результатов; редактирование рукописи.

**Владимир Александрович Трофимченко:** проведение исследования, первичная обработка полученных данных, создание черновика рукописи.

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

**Larisa Il. Rozina:** project administration; investigation; formal analysis; validation; writing-review & editing.

**Vladimir Al. Trofimchenko:** investigation; data curation; writing-original draft.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Аксенов, В.В. (2007). Комплексная переработка растительного крахмалсодержащего сырья в России. *Вестник КрасГАУ*, (4), 213–218.
- Aksenov, V.V. (2007). Complex processing of vegetable starch-containing raw materials in Russia. *Bulletin KrasSAU*, (4), 213–218. (In Russ.)
- Аксенов, В.В. (2012). Внедрение инновационных технологий в переработку зернового сырья. *Вестник КрасГАУ*, (2), 208–212.
- Aksyonov, V.V. (2012). Innovative technology introduction into grain raw material processing. *Bulletin KrasSAU*, (2), 208–212. (In Russ.)
- Андреев, Н.Р., Лукин Н.Д., & Папахин, А.А. (2014). Глубокая переработка зерна озимой ржи. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*, 6(43), 9–12.
- Andreev, N.R., Lukin, N.D., & Papahin, A.A. (2014). Deep processing of rye grain. *Agrarian Science of Euro-North-East*, 6(43), 9–12. (In Russ.)
- Андриевская, Д.В., Захаров, М.А., Ульянова, Е.В., & Ободеева, О.Н. (2021). Изучение влияния сахаросодержащего сырья на качественные характеристики коньяков. *Ползуновский вестник*, (1), 34–43. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.005>
- Andrievskaya, D.V., Zakharov, M.A., Ulyanova, E.V., & Obodeeva, O.N. (2021). Research of the influence of sugar-containing raw materials on qualitative characteristics of cognacs. *Polzunovskiy Vestnik*, (1), 34–43. (In Russ.) <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.005>
- Гольдштейн, В.Г., Куликов, Д.С., & Страхова, С.А. (2018). Перспективы глубокой переработки зерна пшеницы. *Пищевая промышленность*, (7), 14–19.
- Goldstein, V.G., Kulikov, D.S., & Strakhova, S.A. (2018). Prospects of deep processing of wheat grain. *Food Industry*, (7), 14–19. (In Russ.)
- Ермолаева, Г.А., & Сапронова, Л.А. (2012). Сахар и сахаристые продукты в производстве напитков. *Пиво и напитки*, (3), 36–39.
- Ermolaeva, G.A., & Saproнова, L.A. (2012). Sugar and sugary foods in the manufacture of beverages. *Beer and Beverages*, (3), 36–39. (In Russ.)
- Зайнуллин, Р.А., Кунакова, Р.В., & Кирсанова, В.Ю. (2015). Влияние глюкозно-фруктозного сиропа на особенности брожения дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*. *Пиво и напитки*, (6), 46–48.
- Zaynullin, R.A., Kunakova, R.V., & Kirsanov, V.Y. (2015). The influence of glucose and fructose syrup on fermentation of yeast *Saccharomyces cerevisiae*. *Beer and Beverages*, (6), 46–48. (In Russ.)
- Канарская, З.А., & Демина, Н.В. (2012). Тенденции в производстве сахарозаменителей. *Вестник Казанского технологического университета*, 15(9), 145–153.
- Kanarskaya, Z.A., & Demina, N.V. (2012). Trends in the production of sweeteners. *Herald of Technological University*, 15(9), 145–153. (In Russ.)
- Колобаева, А.А., Котик, О.А., Королькова, Н.В., & Бутова, С.В. (2017). Разработка технологии кваса диетического назначения. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*, 3(54), 151–157. <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2017.3.151>
- Kolobaeva, A.A., Kotik, O.A., Korolkova, N.V., & Butova, S.V. (2017). Development of dietary kvass production process. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*, 3(54), 151–157. (In Russ.) <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2017.3.151>
- Кузьмина, Е.И., Егорова, О.С., Акбулатова, Д.Р., Свиридов, Д.А., Ганин, М.Ю., & Шилкин, А.А. (2022). Новые виды сахаросодержащего сырья для производства пищевой продукции. *Пищевые системы*, 5(2), 145–156. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-145-156>
- Kuzmina, E.I., Egorova, O.S., Akbulatova, D.R., Sviridov, D.A., Ganin, M.Yu., & Shilkin, A.A. (2022). New types of sugar-containing raw materials for food production. *Food Systems*, 5(2), 145–156. (In Russ.) <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-145-156>
- Лукин, Н.Д., Серегин, С.Н., Сидак, М.В., & Сысоев, Г.В. (2021). Глубокая переработка крахмалсодержащего сырья: современное состояние и перспективы устойчивого развития. *Пищевая промышленность*, (11), 30–41. <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.11.11.011>

- Lukin, N.D., Seregin, S.N., Sidak, M.V., & Sysoev, G.V. (2021). Deep processing of starch-containing raw materials: Current state and prospects for sustainable development. *Food Industry*, (11), 30–41. (In Russ.) <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.11.11.011>
- Лукин, Н.Д., Пучкова, Т.С., & Пихало, Д.М. (2017). Ионнообменная очистка сиропов из кукурузного крахмала. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (11), 21–25.
- Lukin, N.D., Puchkova, T.S., & Pihalo, D.M. (2017). Ion exchange purification of corn starch syrups. *Storage and Processing of Farm Products*, (11), 21–25. (In Russ.)
- Мамедов, Э.Р., & Баракова, Н.В. (2020). Применение сахаристых крахмалопродуктов в рецептурах ликероводочных изделий. *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств»*, (2), 41–48. <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2020-10-2-41-48>
- Mamedov, E.R., & Barakova, N.V. (2020). Addition of starch-derived sweeteners to a liqueur blend. *Scientific Journal NRU ITMO. Series “Processes and Food Production Equipment,”* (2), 41–48. (In Russ.) <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2020-10-2-41-48>
- Неровных, Л.П., Агеева, Н.М., & Даниелян, А.Ю. (2017). Влияние биологических средств на процесс вторичного брожения виноматериалов резервуарным способом. *Виноделие и виноградарство*, (6), 11–16.
- Nerovnykh, L.P., Ageeva, N.M., & Danielyan, A.Yu. (2017). Influence of biological agents on the process of secondary fermentation of wine materials by reservoir method. *Viticulture and Winemaking*, (6), 11–16. (In Russ.)
- Неровных, Л.П., Агеева, Н.М., & Даниелян, А.Ю. (2017). Влияние биологических средств на процесс вторичного брожения виноматериалов бутылочным способом. *Виноделие и виноградарство*, (3), 9–15.
- Nerovnykh, L.P., Ageeva, N.M., & Danielyan, A.Yu. (2017). Influence of biological agents on the process of secondary fermentation of wine materials in a bottle way. *Viticulture and Winemaking*, (3), 9–15. (In Russ.)
- Панасюк, А.Л., Кузьмина, Е.И., Егорова, О.С., & Акбулатова, Д.Р. (2022a). Особенности биохимического состава грушевых сброженных материалов, полученных с использованием ГФС. *Пиво и напитки*, (1), 38–41. <https://doi.org/10.52653/PIN.2022.01.01.008>
- Panasjuk, A.L., Kuz'mina, E.I., Egorova, O.S., & Akbulatova, D.R. (2022a). Features of the biochemical composition of pear fermented materials obtained using GFS. *Beer and Beverages*, (1), 38–41. (In Russ.) <https://doi.org/10.52653/PIN.2022.01.01.008>
- Панасюк, А.Л., Кузьмина, Е.И., Розина, Л.И., Акбулатова, Д.Р., & Егорова, О.С. (2022b). Перспективы использования сиропов из зернового сырья в производстве плодовой алкогольной продукции. *Пищевая промышленность*, (9), 8–11. <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.9.9.001>
- Panasjuk, A.L., Kuz'mina, E.I., Rozina, L.I., Akbulatova, D.R., & Egorova, O.S. (2022b). Prospects for the use of syrups from grain raw materials in the production of fruit alcoholic beverages. *Food Industry*, (9), 8–11. (In Russ.) <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.9.9.001>
- Песчанская, В.А., Андриевская, Д.В., & Ульянова, Е.В. (2020). Перспективы использования глюкозно-фруктозных сиропов при производстве спиртных напитков. *Пиво и напитки*, (3), 13–16. <https://doi.org/10.24411/2072-9650-2020-10033>
- Peschanskaya, V.A., Andrievskaya, D.V., & Ulyanova, E.V. (2020). Prospects for the use of glucose-fructose syrups in the production of alcoholic beverages. *Beer and Beverages*, (3), 13–16. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2072-9650-2020-10033>
- Саришвили, Н.Г., & Рейтблат, Б.Б. (2000). Микробиологические основы технологии шампанизации вина. Москва: Пищевая промышленность.
- Sarishvili, N.G., & Rejtblat, B.B. (2000). Microbiological foundations of wine champagnification technology. Moscow: Food Industry. (In Russ.)
- Томгорова, С.М., & Трофимченко, В.А. (2024). Исследование влияния природы сахаросодержащего сырья на качественные показатели тиражного и экспедиционного ликеров. *Пищевая промышленность*, (4), 23–26. <https://doi.org/10.52653/PPI.2024.4.4.004>
- Tomgorova, S.M., & Trofimchenko, V.A. (2024). Study of the influence of the nature of sugar-containing raw materials on the quality indicators of tirage and expedition liqueurs. *Food Industry*, (4), 23–26. (In Russ.) <https://doi.org/10.52653/PPI.2024.4.4.004>
- Трофимченко, В.А., Осипова, В.П., Махроva, И.В., & Ротару, И.А. (2019). Оптимизация физико-химического состава тиражной смеси при производстве игристых вин в бутылках. *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*, (6), 16–22.
- Trofimchenko, V.A., Osipova, V.P., Makhrova, I.V., & Rotaru, I.A. (2019). Optimization of the tirage mixture physical-chemical composition for producing sparkling wines in bottles. *Technology and the Study of Merchandise of Innovative Foodstuffs*, (6), 16–22. (In Russ.)
- Чусова, А.Е., Романюк, Т.И., Агафонов, Г.В., Алексева, Н.И., & Баймашова, Н.С. (2014). Напиток для диабетиков. В *Инновационные решения при производстве продуктов питания из растительного сырья: Материалы международной научно-практической конференции* (с. 129–134). Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий.
- Chusova, A.E., Romanyuk, T.I., Agafonov, G.V., Alekseeva, N.I., & Bajmashova, N.S. (2014). Drink for diabetics. In *Innovative solutions in the production of food from vegetable raw materials: Materials of the International Scientific and Practical Conference* (pp. 129–134). Voronezh: Voronezh State University of Engineering Technologies. (In Russ.)
- Caliari, V., Pretto Panceri, C., Rosier, J. P., & Bordignon-Luiz, M. T. (2015). Effect of the traditional, charmat and Asti method production on the volatile composition of Moscato Giallo sparkling wines. *LWT—Food Science and Technology*, 61(2), 393–400. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.11.039>

- Cisilotto, B., Scariot, F. J., Schwarz, L. V., Rocha, R. K. M., Delamare, A. P. L., & Echeverrigaray, S. (2023). Are the characteristics of sparkling wines obtained by the traditional or charmat methods quite different from each other? *OENO One*, 57(1), 321–331. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2023.57.1.7313>
- Cravero, M. C. (2023). Innovations in sparkling wine production: A review on the sensory aspects and the consumer's point of view. *Beverages*, 9(3), 80. <https://doi.org/10.3390/beverages9030080>
- Crumpton, M., Rice, C. J., Atkinson, A., Taylor, G., & Marangon, M. (2018). The effect of sucrose addition at dosage stage on the foam attributes of a bottle-fermented English sparkling wine. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98, 1171–1178. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8570>
- Ferreira, V., Lopez, R., & Cacho, J. F. (2000). Quantitative determination of the odorants of young red wines from different grape varieties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 1659–1667. [https://doi.org/10.1002/1097-0010\(20000901\)80:11%3C1659::AID-JSFA693%3E3.0.CO;2-6](https://doi.org/10.1002/1097-0010(20000901)80:11%3C1659::AID-JSFA693%3E3.0.CO;2-6)
- Just-Borràs, A., Alday-Hernández, M., García-Roldán, A., Bustamante, M., Gombau, J., Cabanillas, P., Rozès, N., Canals, J. M., & Zamora, F. (2024). Assessment of physicochemical and sensory characteristics of commercial sparkling wines obtained through ancestral and traditional methods. *Beverages*, 10(4), 103. <https://doi.org/10.3390/beverages10040103>
- Martínez-Rodríguez, A., Carrascosa, A., & Polo, M. (2001). Release of nitrogen compounds to the extracellular medium by three strains of *Saccharomyces cerevisiae* during induced autolysis in a model wine system. *International Journal of Food Microbiology*, 68, 155–160. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(01\)00486-X](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(01)00486-X)
- McMahon, K. M., Diako, C., Aplin, J., Mattinson, D. S., Culver, C., & Ross, C. F. (2017). Trained and consumer panel evaluation of sparkling wines sweetened to brut or demi sec residual sugar levels with three different sugars. *Food Research International*, 99, 173–185. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.05.020>
- Paulino, B. N., Molina, G., Pastore, G. M., & Bicas, J. L. (2021). Current perspectives in the biotechnological production of sweetening syrups and polyols. *Current Opinion in Food Science*, 41, 36–43. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.02.004>
- Ribéreau-Gayon, P., Dubourdieu, D., Donèche, B., Lonvaud, A., Darriet, P., & Towey, J. (2021). *Handbook of enology. Vol. 2; The chemistry of wine stabilization and treatments*. John Wiley & Sons Ltd. <https://doi.org/10.1002/9781119588320>
- Ubeda, C., Kania-Zelada, I., del Barrio-Galán, R., Medel-Marabolí, M., Gil, M., & Peña-Neira, Á. (2019). Study of the changes in volatile compounds, aroma, and sensory attributes during the production process of sparkling wine by traditional method. *Food Research International*, 119, 554–563. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.10.032>
- Wilson, A., Charnock, H., Xu, S., & Kemp, B. (2022). Influence of cane and beet sugar for second fermentation on “fruity” aromas in Auxerrois sparkling wines. *OENO One*, 56, 125–134. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2022.56.2.4864>

# Анализ причин возникновения дефектов шоколадных конфет при хранении и разработка технологических приемов по их устранению

Уральский государственный  
экономический университет,  
г. Екатеринбург,  
Российская Федерация

Ш. А. Шамилов, Н. В. Заворохина, О. В. Чугунова

## КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

**Шамиль Асхабович Шамилов**

E-mail: shamilov.shamil1999@yandex.ru

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Шамилов, Ш. А., Заворохина, Н. В., & Чугунова, О. В. (2024). Анализ причин возникновения дефектов шоколадных конфет при хранении и разработка технологических приемов по их устранению. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(4), 55-69. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.4.577>

**ПОСТУПИЛА:** 10.04.2024

**ДОРАБОТАНА:** 08.12.2024

**ПРИНЯТА:** 16.12.2024

**ОПУБЛИКОВАНА:** 27.12.2024

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.



## АННОТАЦИЯ

**Введение:** Наблюдается ухудшение качества продукции из шоколада, связанное с использованием некачественного сырья, фальсификация продукции. Несмотря на многочисленные исследования причин возникновения дефектов шоколадных конфет при хранении, данных о технологических решениях для предотвращения появления дефектов шоколадных конфет в процессе хранения на данный момент недостаточно.

**Цель:** Исследование причин возникновения дефектов шоколадных конфет при хранении, и разработка технологических приемов по их устранению.

**Материалы и методы:** Исследование проводили на кафедре технологии питания Уральского государственного экономического университета, г. Екатеринбург, с использованием базы дефектов, накопленного практического опыта предприятия по выпуску авторских шоколадных конфет ООО «БК» г. Тюмень. Объектами исследования являлись конфеты: нарезные с однослойными (ганаш) и многослойными (хрустящий и мармеладный слой) начинками, а также корпусные с карамельной начинкой.

**Результаты:** Для решения дефекта нарезной конфеты «малина-шоколад» при изучении технологии приготовления мармелада была скорректирована температура варки с 101 °С до 105 °С, для предотвращения растрескивания корпуса в шоколад низкой текучести дополнительно было добавлено какао-масло в количестве 5% от общей массы шоколада. По предотвращению выделения жира у конфеты «кофе-пекан» была предложена новая рецептура хрустящего слоя, с соотношением пралине: шоколада 1:1 и темперирование данной массы для закаливания какао-масла, входящего в состав шоколада. У корпусной конфеты «солёная карамель» в первую очередь была скорректирована технология приготовления карамели с увеличением температуры варки с 115 °С до 170 °С, для устранения засахаривания ганаша добавляли лимонную кислоту в количестве 1% от количества сахаров. Для лучшего соединения донышка с корпусом, был предложен метод закрывания с использованием плотной ацетатной пленки, толщиной 200 мкм.

**Выводы:** Предложенные технологические решения имеют положительный эффект, позволяющий повысить качество выпускаемых шоколадных изделий при хранении. Они были успешно внедрены на производствах, специализирующихся на выпуске авторских конфет в городе Тюмень.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

шоколад; шоколадные конфеты; дефект шоколадных конфет; хранение шоколадных конфет; темперирование при хранении; усовершенствование технологии хранения шоколадных конфет

# Analysis of the Causes of Defects of Chocolate Candies during Storage and Development of Technological Methods for their Elimination

Ural State University of Economics,  
Ekaterinburg, Russian Federation

Shamil A. Shamilov, Natalia V. Zavorokhina, Olga V. Chugunova

## CORRESPONDENCE:

Shamil A. Shamilov,

E-mail: shamilov.shamil1999@yandex.ru

## FOR CITATIONS:

Shamilov, Sh.A., Zavorokhina, N.V., & Chugunova, O.V. (2024). Analysis of the causes of defects of chocolate sweets during storage and development of technological methods for their elimination. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(4), 55-70. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.4.577>

RECEIVED: 10.04.2024

REVISED: 08.12.2024

ACCEPTED: 16.12.2024

PUBLISHED: 27.12.2024

## DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



## ABSTRACT

**Introduction:** A decline in the quality of chocolate products has been observed, attributed to the use of low-quality raw materials and product adulteration. Despite numerous studies on the causes of defects in chocolate candies during storage, there is currently insufficient data on technological solutions to prevent these defects during storage.

**Purpose:** To investigate the causes of defects in chocolate candies during storage and to develop technological methods for their elimination.

**Materials and Methods:** The research was conducted at the Department of Food Technology of the Ural State University of Economics in Ekaterinburg, utilizing a defect database and the practical experience of the artisanal chocolate candy production company LLC «БК» based in Tyumen. The study objects included layered candies with single-layer (ganache) and multi-layer (crunchy and marmalade layers) fillings, as well as shell candies with caramel filling.

**Results:** To address the defect of the layered candy “Raspberry-Chocolate,” the marmalade preparation technology was adjusted by increasing the cooking temperature from 101°C to 105°C. To prevent shell cracking, cocoa butter was added to low-flow chocolate in an amount of 5% of the total chocolate mass. For the “Coffee-Pecan” candy, a new recipe for the crunchy layer was developed, with a praline-to-chocolate ratio of 1:1, and tempering of the mixture was proposed to solidify the cocoa butter within the chocolate. For the shell candy “Salted Caramel,” the caramel preparation technology was revised by increasing the cooking temperature from 115°C to 170°C. To prevent ganache crystallization, citric acid was added at a concentration of 1% relative to the sugar content. For better adhesion of the base to the shell, a method using dense acetate film (200 µm thick) was suggested

**Conclusion:** The proposed technological solutions demonstrated a positive effect, improving the quality of chocolate products during storage. They were also implemented at artisanal candy production enterprises in Tyumen.

## KEYWORDS

chocolate; chocolate candies; chocolate candy defects; chocolate candy storage; tempering during storage; improving chocolate candy storage technology

## ВВЕДЕНИЕ

Кондитерская промышленность играет важную роль в развитии экономического потенциала России и является одной из главных отраслей пищевой промышленности. Задачи данной отрасли состоят не только в выпуске высококачественных изделий широкого ассортимента для удовлетворения вкусовых предпочтений потребителей, но и изготовление продукции, формирующей праздничное настроение потребителя, положительные эмоции, направленные на гедонические и эстетическую составляющую потребительского спроса. Кондитерская отрасль, в том числе производство шоколада и изделий из него, является динамично развивающейся: за 2023 год выпуск кондитерских изделий вырос на 2,3% и составил 4 млн. тонн (Криворотов и соавт., 2006; Алексейчева и соавт., 2024). Наиболее излюбленными кондитерскими изделиями являются шоколадные (конфеты в упаковочных коробках и развесные, плиточный шоколад, батончики и др.) (Тихонова, 2020; Shandrivska et al., 2024). По данным Росстата за последние 15 лет потребление шоколада выросло на 30% и ежегодное употребление на душу населения составляет 6–7 кг (Рыжакова и соавт., 2017; Титов., 2021; Шамилов и соавт., 2023).

Конфеты являющиеся многокомпонентными и сложными изделиями, выделяются среди остальных видов кондитерских изделий многокомпонентностью и возможностью моделирования состава с заданной пищевой, биологической ценностью (Ткешелашвили и соавт., 2020; Malau et al., 2024). В настоящее время на рынке представлен широкий ассортимент конфет, отличающихся по видам начинок (однослойные и многослойные), по виду изготовления (глазированные, неглазированные, в обсыпке), по виду начинок (пралиновые, карамельные, фруктово-ягодные, суфлейные, кремовые и др.). Данные изделия относятся к высококалорийным продуктам за счет большого содержания сахара и жира, что позволяет потребителю быстро утолить голод и компенсировать энергетические затраты. Шоколад и шоколадные изделия являются продуктами премиум-сегмента и имеют высокую стоимость при достаточно небольшом сроке хранения. Поэтому классификация и изучение причин дефектов, возникающих в процессе хранения шоколадных изделий, реализуются исследователями на постоянной основе.

Несмотря на широкий ассортимент, в настоящее время в мире наблюдается ухудшение качества выпускаемых шоколадных изделий. По данным Росконтроля, некоторые производители заменяют часть какао-крупки или какао-тертого порошком какао; используют и какао-веллу — шелуху какао-бобов, кероб и измельченные виноградные косточки, что позволяет снизить издержки производства и положительно влияет на экономические показатели предприятия, но значительно ухудшает качество выпускаемого продукта и отрицательно влияет на здоровье потребителей (Верещагин и соавт., 2019; Fadel et al., 2006).

Одним из видов фальсификации является замена ценного какао-масла в рецептуре шоколадных изделий на дешевые аналоги, например, на растительные жиры (пальмоядровое, пальмовое, подсолнечное, рапсовое и др. масла), используют заменители какао-масла на основе лауриновой кислоты (Ильина, 2016; Бутова и соавт., 2019; Мазукабзова и соавт., 2021; Sonwai et al., 2015). Потребители отмечают ухудшение консистенции представленных на рынке шоколадных изделий, у некоторых видов шоколадных изделий наблюдается снижение скорости таяния, пластилиноподобная консистенция, снижение флейвора шоколада. Помимо замены дорогостоящих ингредиентов, на качество шоколадных изделий, несомненно, влияет соблюдение технологии, условия хранения. Производители шоколадных конфет сталкиваются с технологическими проблемами, такими как: дефекты внешнего вида, вкуса, текстуры, структуры как в процессе производства, так и во время хранения (Заворохина и соавт., 2024).

Для большинства предприятий по выпуску шоколадных изделий, стратегически важным является снижение количества производственных потерь, связанных с дефектами изделий, которые могут возникать на различных этапах производства. Выпускаемые изделия с дефектами, напрямую влияют на восприятие бренда и удовлетворенность потребителями. Уменьшение количества дефектов, возникающих при хранении шоколадных изделий, способствует сокращению финансовых потерь и увеличению прибыли (Солдатова и соавт., 2019). Учитывая жесткую конкуренцию на рынке шоколада, выпуск качественной продукции является преимуществом для производителя, таким образом комплексный подход по уменьшению количества

дефектов шоколадных изделий является актуальной темой исследования.

Проблеме факторов, влияющих на качество шоколадных и кондитерских изделий в процессе хранения, посвящены работы отечественных и зарубежных ученых. Исследования можно условно разбить на два основных направления — (1) изучение влияния физико-химических процессов, протекающих при производстве и хранении шоколадных изделий на их качество и (2) вопросы появления дефектов и прогнозирования сроков хранения шоколадных изделий.

Первому направлению исследований посвящены работы о влиянии активности воды на хранимоспособность шоколадных изделий Молибога (2011), Першиной и соавт. (2015); Демидовой и Ловачева (1982) о влиянии состава липидной фракции при хранении кондитерских изделий; Криворотова и Минбаевой (2006) о заменителях масла какао лауринового типа при производстве шоколадных изделий; Кондратьева и соавт. (2023) о скорости миграции жиров в шоколадных конфетах с начинками из масс пралине при хранении; Laughter et al. (2024) о влиянии термостойкости шоколада на возникновение дефектов при хранении, получении шоколада длительного хранения при использовании эмульсий вода-масло, De Clercq et al. (2017) о влиянии эквивалентов какао-масла на качество шоколада при хранении Svanberg et al. (2011) изучили влияние процесса предварительной кристаллизации на возникновение дефектов при хранении шоколадных изделий.

Второму направлению исследований — посвящены работы Кондратьева и соавт. (2022) об ускоренных испытаниях шоколадных кондитерских изделий на срок годности; Дмитриченко и соавт. (1987) о коэффициенте скорости окислительных процессов при различных температурах хранения шоколадных изделий для прогнозирования срока хранения; Солдатов и соавт. (2019) о теоретических и практических вопросах обеспечения качества и безопасности кондитерских изделий в процессе хранения. Кондратьевым (2012) были систематизированы причины порчи кондитерских изделий, обобщены и проанализированы дефекты в процессе хранения. В работах Lund (2019) и Machálková et al. (2015) отражены основные аспекты, позволяющие уменьшить количество дефектов у выпускаемых

кондитерских изделий, в частности шоколадных, путем корректировки рецептуры и технологических процессов. Вместе с тем, несмотря на многочисленные научные исследования влияния физико-химических процессов на качество шоколадных изделий при хранении, прогнозирование сроков хранения кондитерских изделий, практических рекомендаций по результатам научных исследований, включающих современные технологические решения по предотвращению появления дефектов шоколадных нарезных и корпусных конфетах в процессе хранения на данный момент недостаточно, что и обосновывает актуальность данного исследования.

Цель настоящего исследования — анализ причин возникновения дефектов шоколадных конфет при хранении и разработка технологических приемов по их устранению. По гипотезе авторов на качество шоколадных изделий, в значительной мере могут влиять как процессы миграции жира и неправильной кристаллизации начинки, так и эвтектика различных по плотности слоев начинки. В частности, статья направлена на решение следующих вопросов:

- (1) Какие дефекты проявляются при хранении корпусных и нарезных конфет?
- (2) Каково влияние нарушения технологии изготовления шоколадных конфет на появление дефектов, возникающих при хранении?
- (3) Какие технологические приемы позволяют сохранить качество корпусных и нарезных конфет в процессе хранения?

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Объекты исследования

Объект исследования — авторские шоколадные конфеты нарезные однослойные ганашевые и многослойные (с хрустящим пралиновым и мармеладными слоями), корпусная конфета с карамельной начинкой, производитель ООО «БК», г. Тюмень; экспериментальные образцы начинок в том числе мармелада с температурой варки 103 °С, 105 °С и 107 °С; образцы темного шоколада с включением какао — масла в количестве 3 %, 5 %, 8 %, 10 % соответственно (образцы хранили в течение 108 дней, при температуре 16–18 °С, пробы отбирались каждые 18 дней).

**Таблица 1**

Объекты исследования и анализируемый дефект

**Table 1**

Research Objects and Analyzed Defect

№ п/п	Наименование	Состав	Дефект
1	Нарезная конфета малина-шоколад	Малиновое пюре, сахар-песок, глюкозный сироп, пектин цитрусовый, шоколад темный 54,5 %, сливочное масло 82,5 %, сливки 33 %, декстроза	Трещина по периметру корпуса нарезной конфеты при хранении
2	Нарезная конфета кофе-пекан	Сливки 33 %, глюкозный сироп, инвертный сахар, кофе растворимый, молочный шоколад 33,6 %, сливочное масло 82,5 %, пралине пекан	Выделение жира из начинки при хранении
3	Корпусная конфета соленая карамель	Сахар-песок, глюкозный сироп, сливки 33 %, молочный шоколад 33,6 %, сливочное масло 82,5 %, соль	Отхождение доньшка от корпуса конфеты при хранении

Состав конфет и дефекты, подвергнутые исследованию, представлены в Таблице 1. Исследуемые дефекты являются часто встречающимися на любом производстве шоколадных конфет, с другими рецептурами.

Для решения выявленных дефектов, нами были проанализированы рецептуры представленных изделий, технология их приготовления и условия хранения.

## Методы

При проведении исследования использовали метод анализа дефектов с проведением визуального осмотра изделий, анализ причин дефектов проводили по методике «5 Whys analysis» (Barsalou et al., 2023). Для определения температуры кристаллизации, темперированные образцы наносили ровным слоем на пергаментные листы, толщина слоя составляла  $0,5 \pm 0,05$  мм, время кристаллизации 2–3 минуты, при температуре не выше  $18 \pm 0,5$  °C.

## Оборудование

В исследовании применялось стандартное технологическое оборудование, для определения температуры темперированных масс использовали профессиональный бесконтактный лазерный пирометр «Testo» страна-производитель Франция,

диапазон измерения температур от  $-50$  до  $+280$  °C, точность  $\pm 0,1$  %.

Для определения температуры варки мармелада использовали щуповой цифровой термометр «DT-131» страна-производитель Россия, диапазон измерения температур от  $-40$  до  $+250$  °C, точность  $\pm 1,5$  %.

Для варки карамели использовали термометр в нержавеющей кожухе, страна-производитель Франция, диапазон измерения температур от  $+80$  до  $+300$  °C.

Для темперирования шоколада использовали автоматические темп-машины «Selmi», страна-производитель Италия.

Глазирование нарезных конфет проводилось на автоматической темп-машине с линией для глазировки «Selmi» страна-производитель Италия. Цифровой микрометр «Мегеон» с точностью до 0,001 мм, страна-производитель РФ.

## Процедура исследования

На первом этапе исследования классифицировали дефекты шоколадных конфет: по внешнему виду (сахарный и жировой налет, изменения поверхности корпуса, появление пятен, просачивание начинки); дефекты формы (растрескивание корпуса, появление трещин и вмятин, неправильное рас-

положение начинки, неправильная форма конфет, отхождение доньшка конфеты). На втором этапе исследования осуществляли экспериментальный подбор методик по профилактике и/или корректирующим действиям по недопущению и устранению выявленных дефектов. На третьем этапе были разработаны стандартизированные операционные процедуры и разработана техническая документация в виде рабочих инструкций, форм с подробной информацией о характере недопустимых дефектов, причин возникновения и необходимых корректирующих действий. На четвертом этапе на узкоспециализированное предприятие по выпуску шоколадных конфет ООО «БК» были внедрены предлагаемые корректирующие методы и документация, регламентирующая процессы предотвращения повторных дефектов. С целью верификации и валидации предложенных корректирующих мер, каждая производственная партия в количестве 500 штук конфет была подвергнута непрерывному производственному мониторингу, что позволило получить эмпирические данные о результативности предложенных мер по устранению дефектов и их влиянии на стабильность производственного процесса. Шоколадные конфеты хранили при стандартных условиях, при температуре не выше 18 °С и относительной влажности воздуха не более 75 % в течение 108 суток.

## Анализ данных

Анализ возникновения дефектов был изучен при помощи методики «5 Whys analysis». Статистические данные обрабатывались программой Statistics (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA, 2006).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В соответствии с применяемой методикой «5 Whys analysis» изучали и анализировали каждый этап производства — (1) сырье, (2) рецептуру, (3) технологию, (4) соблюдение условий хранения, (5) соблюдение гигиенических нормативов. На первом этапе исследований были выявлены причины появления наиболее часто встречающихся дефектов глазированных нарезных конфет с мармеладным слоем и корпусных конфет.

### Трещина по периметру корпуса нарезной конфеты

Определено, что при изготовлении нарезных конфет (на примере конфеты «Малина-шоколад») температура варки мармелада составляет 101 °С, студнеобразователь — цитрусовый пектин, для глазирования используется шоколад низкой текучести. Выявлено, что нарушен температурный режим варки мармелада: температура 101 °С недостаточна, что привело к миграции лишней влаги в менее влажную часть конфеты (ганаш) и увеличению показателя активности воды  $a_w$ . Следствием этого, могут стать нежелательные процессы, связанным с развитием патогенных микроорганизмов в начинке-ганаше (Юшина., 2018; Молибога., 2011; Шамилов и соавт., 2023). Использование же шоколада низкой текучести в комбинации с не плотным и влажным мармеладом, влияет на сохранность глазированного корпуса, где при 3-х и более хранения появляются трещины в глазури по периметру нарезной конфеты, данный дефект представлен на Рисунке 1.

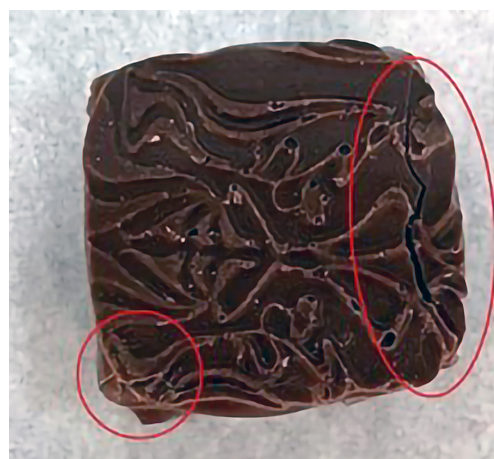
Таким образом, выявлено, что причиной появления трещин на глазури нарезной конфеты с мармеладным слоем, является высокая влажность мармеладной массы, вследствие чего влажная поверхность мармелада образует конденсат между слоями мармелад-шоколад, что приводит к растрескиванию

#### Рисунок 1

Фото дефекта нарезной конфеты — трещины на глазури при хранении

#### Figure 1

Photo of the Defect in a Layered Candy – Cracks on the Glaze during Storage



поверхности глазури. Использование шоколада низкой текучести при глазировании образует толстый и неравномерный слой, что также приводит к растрескиванию корпуса из-за внутреннего напряжения при кристаллизации и хранении.

### Выделение жира из начинки при хранении

При определении причины выделения жира из слоя пралине на поверхность на примере нарезной конфеты «Кофе-пекан» (Рисунок 2), после анализа сырья, рецептуры, технологии было установлено, что не соблюдены технологические требования, такие как: соотношение пралине и шоколада в рецептуре хрустящего слоя из пекана (соотношение 5:1 при требуемом 2:1), в технологии отсутствует процесс темперирования шоколадной массы, тогда как технология должна включать обязательные этапы перемешивания пралине с шоколадом, нагрев до 40 °С, студнеобразование и стабилизация в рамке с последующим процессом кристаллизации в холодильной камере при температуре 4–6 °С и времени застывания не менее 40 минут, после чего на поверхность застывшего слоя пралине выкладывают ганаш и продолжают кристаллизацию при температуре 4–6 °С, в течение 10–12 часов, далее глазируют темперированным горьким шоколадом. Выделение жира наблюдается уже спустя 2–3 часа после глазирования, при хранении количе-

ство жира на поверхности конфеты увеличивается. Дефект выделения жира из конфеты при хранении представлен на Рисунке 2.

Анализ показал, что выделение жира из начинки на поверхность нарезной конфеты связано с большим содержанием жира с низкой температурой плавления в ганаше, нарушением рецептуры. Из-за резкого охлаждения хрустящего слоя, происходит неправильная кристаллизация какао-масла, содержащегося в шоколаде так как начинка при температуре хранения 16–18 °С может содержать нестабильные кристаллы жиров, что приводит к выделению жира на поверхности. (Кондратьев и соавт., 2023; Потороко и соавт., 2021). Выявлено, что на появление данного дефекта так же влияет такой процесс как эвтектика, а именно-при неправильном соотношении жиров, наблюдается снижение плотности начинки так как неправильно подобранные в рецептуре жиры мешают друг другу правильно кристаллизоваться. Существует 6 видов кристаллов и их различают по рангу температуры кристаллизации (Gamma I – 18 °С, Alfa II – 18–24 °С, Beta' III – 24–28 °С, Beta' IV – 28–32 °С, Beta V – 33–35 °С, Super-Beta VI – 35–37 °С) Только кристаллы III, IV и V дают стабильные кристаллы и имеют прямое влияние к температурам кристаллизации, кристаллы правильно темперированной массы находятся в форме V и естественным образом переходят в форму VI (Afoakwa et al., 2008; Afoakwa et al., 2010; Chen et al., 2021; Castro-Alayo et al., 2023).

#### Рисунок 2

Фото дефекта нарезной конфеты – выделение жира из начинки при хранении нарезной конфеты

#### Figure 2

Photo of the Defect in a Layered Candy – Fat Separation from the Filling during Storage



### Отхождение доньшка от корпуса

Данный дефект является достаточно распространенным, чаще всего встречается именно в корпусных конфетах, с использованием жидких начинок, в том числе карамельных, алкогольсодержащих, ганашевых начинок с большим содержанием влаги. На Рисунке 3 представлено фото дефекта.

Анализ методом «5 Whys analysis» показал, что основная причина данного дефекта – это нарушение технологии уваривания карамели, а именно: жидкость в карамели недостаточно выпарена, из-за жидкой консистенции начинки нарушен процесс закрытия доньшка корпуса, из-за чего при хранении карамельная начинка начинает засахариваться, а доньшко отходить от корпуса. Так же было выявлено, что недостаточно уваренная карамель с повы-

**Рисунок 3**

**Фото дефекта – трещина у доньшка конфеты и полное отхождение доньшка**

**Figure 3**

Photo of the Defect – Crack at the Base of the Candy and Complete Detachment of the Base



шенным содержанием влаги способствует долгой и неполноценной кристаллизации начинки, вследствие чего появляются трещины и полное отхождение доньшка от корпуса конфеты.

Следующим этапом исследования служил поиск решений по устранению выявленных дефектов (Таблица 2).

**Устранение дефекта 1**

Для устранения дефекта 1, были приготовлены экспериментальные партии мармеладного слоя, варка которых осуществлялась при температурах 103 °С, 105 °С и 107 °С. Для увеличения текучести шоколада,

да, добавляли какао-масло в количестве 3%, 5%, 8% и 10% от общего веса шоколада. При отработке технологии малиновое пюре с глюкозным сиропом нагревали до 40 °С, после чего добавляли сахар соединённый с цитрусовым пектином и уваривали массы до указанных температур, для ускорения активации работы пектина добавляли лимонную кислоту в количестве 0,1% от массы пюре в конце варки. Было отмечено, что при добавлении смеси сахара с пектином при температуре выше 40 °С, нарушается гомогенность смеси (Першина и соавт., 2015; Тарасенко., 2018; Шодиев и соавт., 2022). Оценка консистенции опытных образцов показала, что образец мармелада (103 °С), имел липкую поверхность, при нарезании деформировался; образец мармелада (105 °С) имел студнеобразную форму, хорошо поддавалась нарезанию, образец мармелада (107 °С) имел плотную форму, затяжистую и твердую консистенцию. Таким образом, опытным путем определено, что оптимальными характеристиками консистенции обладает образец с температурой варки 105 °С. Фото экспериментального образца мармелада представлено на Рисунке 4.

Далее поверх мармеладного слоя выкладывали ганаш и после кристаллизации нарезали 2,5 × 2,5 см и глазировали в темперированном темном шоколаде.

Для увеличения текучести темного шоколада, добавляли какао-масло в количестве 3%, 5%, 8% и 10% от массы шоколада, в Таблице 3 представ-

**Таблица 2**

Систематизация причин дефектов и предлагаемые решения по их устранению

**Table 2**

Systematization of Defect Causes and Proposed Solutions for Their Elimination

№	Дефект	Причина дефекта	Предлагаемое решение
1	Трещина по периметру корпуса нарезной конфеты при хранении	Нарушение температуры варки мармелада, неверный выбор текучести шоколада для глазури	(1) Усовершенствование технологии варки мармелада (2) Правильный подбор шоколада для глазирования
2	Выделение жира из начинки при хранении	Соотношение пралине к шоколаду в ганаше, неправильный подбор жиров	(1) Усовершенствование рецептуры начинки с изменением соотношения шоколада и пралине 1:1
3	Отхождение доньшка от корпуса конфеты при хранении	Нарушение технологии варки карамельной начинки	(1) Увеличение температуры варки карамели до 170 °С (2) Внесение лимонной кислоты 1% для устранения риска засахаривания карамельной начинки (3) Усовершенствование технологии формирования доньшка корпуса с помощью ацетатной пленки

**Рисунок 4**

Образец экспериментального образца мармелада с температурой варки 105 °С

**Figure 4**

Sample of the Experimental Marmalade with a Cooking Temperature of 105°C



лены описательные характеристики корпусов глазированных конфет с увеличенной текучестью шоколада.

Согласно Таблице 3, образец с добавлением 5 % какао-масла от общей массы шоколада обладает наи-

лучшими органолептическими характеристиками в отношении внешнего вида и поверхности шоколадного изделия.

**Устранение дефекта 2**

Для устранения дефекта 2 усовершенствовали рецептуру пралиновой начинки, что потребовало проведения исследований по ее кристаллизации. Было разработано две рецептуры с соотношением пралине и шоколада 2:1 и 1:1. Молочный шоколад нагревали до 40 °С, добавляли пралине температура которого составляет 30–35 °С, пробивали массу в однородную смесь при помощи блендера в течение 2–4 минут, после чего темперировали, массу нагревали до 45 °С, охлаждали до температуры 28–28,5 °С и нагревали до рабочей температуры 29–29,5 °С. Темперирование проводили на охлаждаемой поверхности ручным способом (Debaste et al., 2008). После темперирования определяли температуру и время кристаллизации массы (Рисунок 5).

**Таблица 3**

Внешний вид корпуса глазированных конфет

**Table 3**

Appearance of the Shell of Glazed Candies

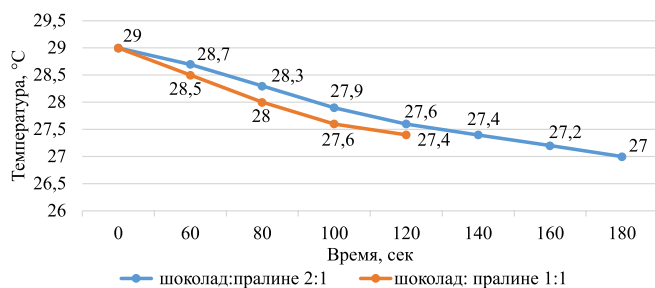
Хранение, сутки	Образец с добавлением какао-масла в количестве			
	3 %	5 %	8 %	10 %
1	Ровная поверхность, толщина корпуса на разрезе 3 мм	Ровная поверхность, толщина корпуса разрезе 1,5 мм	Начинка просвечивает на уголках, корпус на разрезе толщиной Менее 1 мм	Уголки конфет с трещинами, корпус на разрезе толщиной Менее 1 мм, на доннышке конфеты следы конвейера
18	Корпус без изменений	Корпус без изменений	Небольшие трещины на корпусе	Сильное растрескивание корпуса
36	Наблюдаются небольшие изменения в корпусе, без очевидных трещин	Корпус без изменений	Сильные трещины на корпусе	Отхождение корпуса от начинки
54	У уголков корпусов трещины	Корпус без изменений	Сильные трещины на корпусе	Незначительное отхождение корпуса от начинки
72	Трещины в корпусе	Корпус без изменений	Незначительное отхождение корпуса от начинки	Отхождение корпуса от начинки
90	Трещины в корпусе	Появляются слегка заметные трещины на поверхности	Отхождение корпуса от начинки	Значительное отхождение корпуса от начинки
108	Отхождение корпуса от начинки	Без изменений с последней обработки результатов	Отхождение корпуса от начинки	Полное разрушение корпуса

### Рисунок 5

Динамика кристаллизации образцов исследования пралиновой начинки

#### Figure 5

Dynamics of Crystallization of the Samples of Praline Filling Studied



У образца с соотношением пралине пекана и молочного шоколада 1:1, кристаллизация при которой масса не липла и легко отходила от пергаментной бумаги проходила при температуре 27,4 °C, время 2 минуты (120 сек.).

У образца с соотношением пралине пекана и молочного шоколада 2:1, время на кристаллизацию составляло 3 минуты (180 сек.), температура кристаллизации — 27,0 °C, отмечено, что на поверхности пергаментной бумаги остаются небольшие следы не кристаллизованной массы. Проведенный эксперимент показал, что образец с соотношением шоколада и пралине 1:1 является наиболее лучшим по времени и степени кристаллизации. Далее была выработана опытная партия конфет «Кофе-пекан» с включением в состав хрустящего слоя молочного шоколада, в соотношение 1:1 пралине-молочный шоколад. Разработанные образцы хранили при температуре не выше 20 °C в течение 90 суток, каждые 15 отбирали пробы для оценки качества. Определено, что для исключения выделения жира из начинки на поверхность конфеты, массу пралине необходимо темперировать одновременно с шоколадом, так как входящее в состав шоколада какао-масло состоит из кристаллов. Оптимальное соотношение пралине и шоколада в начинке составляет 1:1.

Было отмечено, что в течение всего срока хранения образцов, изготовленных по усовершенствованной рецептуре, не было обнаружено просачивания жира через донышко конфеты. На разрезе изделие имеет стабильный хрустящий слой и ганаш, начин-

ки между собой не перемешиваются, каждый слой равномерно распределен в конфете.

### Устранение дефекта 3

Скорректирована технология приготовления карамели с увеличением температуры варки с 115 °C до 170 °C (Шамилов и соавт., 2023; Головачева и соавт., 2023). При приготовлении карамели, глюкозный сироп нагревали до 50° и в три этапа всыпали сахарный песок, массу уваривали до 170 °C, для устранения засахаривания ганаша добавляли лимонную кислоту в количестве 1 % от количества сахаров; карамель янтарного цвета деглазировали горячими сливками и уваривали массу до 108 °C, охлаждали до 40 °C и вливали на растопленный молочный шоколад, при температуре 32 °C, добавляли сливочное масло и поваренную соль, побивали блендером в течение 2–3 минут до однородной эмульсии. При температуре 25–27 °C начинку отсаживали в корпусы конфет и кристаллизовали в течение 12 часов при температуре 16–18 °C. Для лучшего соединения донышка с корпусом, был предложен метод закрывания с использованием плотной ацетатной пленки, толщиной 200 мкм. Далее закрывали донышки при помощи ацетатной пленки, после кристаллизации шоколада пленку снимали, конфеты извлекали из формы. В результате корректировки рецептуры карамельной начинки, было отмечено, что получен положительный результат внесенных корректировок: карамельный ганаш имел стабильную структуру, добавление лимонной кислоты устранило риск засахаривания карамели. В течение всего срока хранения донышки конфет были ровными, без вмятин, трещин и просачивания карамельной начинки. Технология приготовления карамельного ганаша представлена на Рисунке 6.

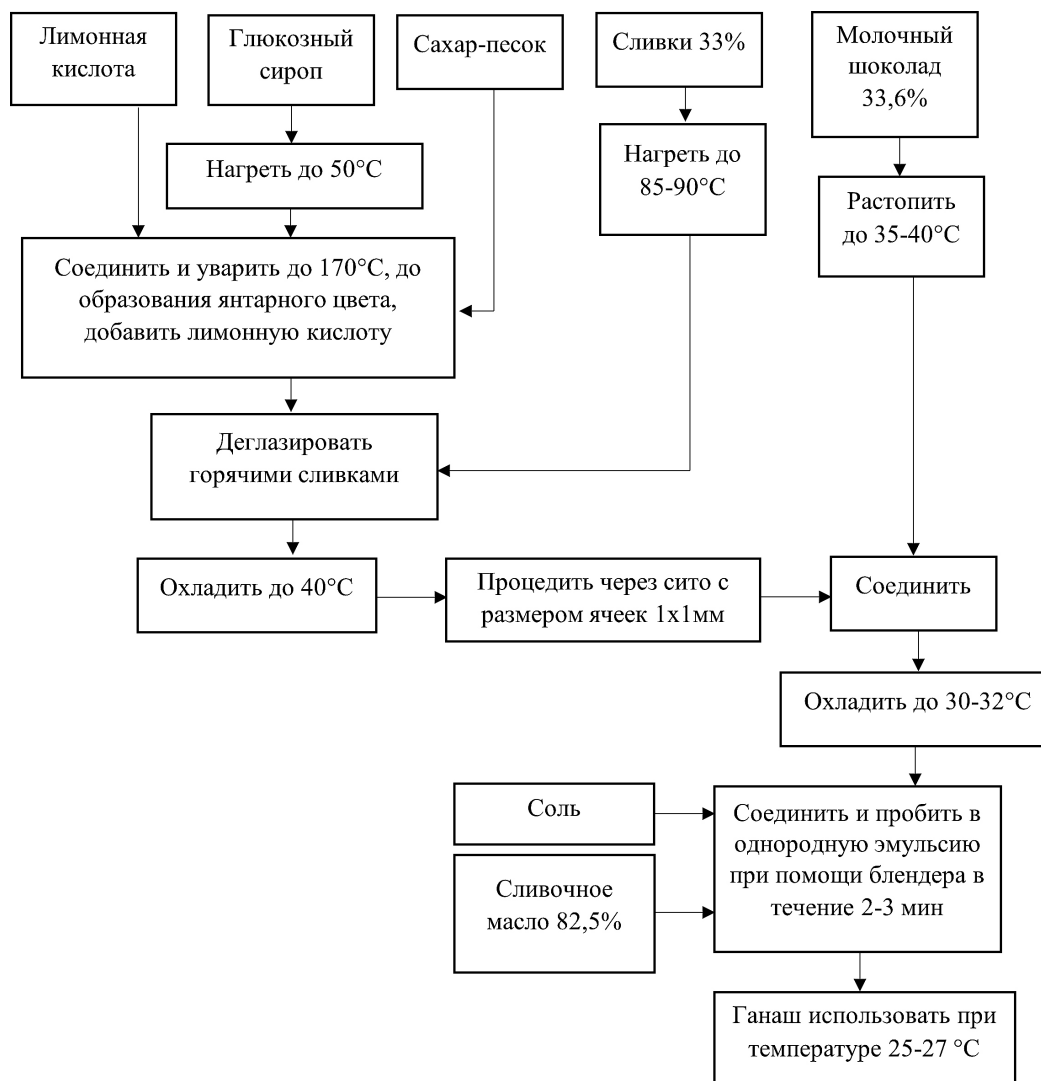
Данная технология приготовления является универсальной и подходит для приготовления различных видов карамели, с использованием фруктово-ягодных пюре и без. При приготовлении фруктовой или ягодной карамели, необходимо учитывать содержание влаги в сырье и корректировать количество ингредиентов, в частности сахара и шоколада.

**Рисунок 6**

Усовершенствованная технология приготовления карамельного ганаша

**Figure 6**

Enhanced Technology for Preparing Caramel Ganache



## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В результате текущего исследования определены основные дефекты, возникающие при хранении шоколадных корпусных и нарезных конфет: трещина по периметру корпуса нарезной конфеты; выделение жира из начинки при хранении; отхождение донышка от корпуса. Исследования показали, что причинами возникновения дефектов являются:

(1) В отношении появления трещин по периметру корпуса нарезной конфеты — увеличение показателя активности воды  $a_w$  как следствие нарушения температурного режима варки мармелада при изготовлении нарезной конфеты с мармеладным и хру-

стящим слоем. В предыдущих исследованиях рассматривалась корреляция между показателем активности воды в ганаше и хранимостпособностью шоколадных конфет (Заворохина и соавт., 2024; Шамилов и соавт., 2024). В данном исследовании данная гипотеза нашла подтверждение и в отношении нарезных конфет с мармеладным слоем. Предложенные авторами рекомендации по корректировке технологии варки мармелада позволили избежать внесения дополнительных гидрофильных влагоудерживающих агентов, таких как декстроза, в состав конфеты;

(2) В отношении выделения жира из начинки при хранении — несоблюдение соотношения пра-

лине и шоколада в рецептуре хрустящего слоя из пекана (5:1 при требуемом 1:1). Согласно нашей гипотезе миграция жира происходила вследствие неправильного процесса кристаллизации какао-масла и процесса эвтектики из-за снижения плотности начинки, что согласуется с данными других авторов (Afoakwa et al., 2008; Afoakwa et al., 2010; Chen et al., 2021; Castro-Alayo et al., 2023). Определено, что одновременное темперирование шоколада и пралиновой массы исключает дальнейшее выделение жира из начинки на поверхность конфеты, а изменение температуры охлаждения хрустящего слоя способствует увеличению плотности начинки, устранению отрицательного взаимного влияния слоев друг на друга, и, как следствие, предотвращению появления выделения жира на поверхность конфеты при хранении; в отношении отхождения доньшка от корпуса — нарушение технологии уваривания карамели до требуемой влажности. Опытными исследованиями подтверждено, что высокая влажность мармеладной массы провоцирует появление конденсата между слоями мармелад-шоколад, что приводит к растрескиванию глазури. Было предложено увеличить температуру варки карамели с 115 °С до 170 °С (Шамилов и соавт., 2023; Головачева и соавт., 2023), что способствовало более быстрому увариванию и предотвращению появления дефекта. Выдвинутые авторами предложения по изменению температурных режимов варки мармелада и кристаллизации карамели, совместному темперированию пралиновой начинки и шоколада, имели положительный эффект: конфеты, изготовленные по предложенной технологии, сохраняли свое качество в процессе хранения при температуре не выше 20 °С в течение 90 суток без появления дефектов.

Полученные результаты позволяют оценить влияние нарушения технологических процессов, и ошибок в рецептуре шоколадных конфет на появление дефектов при хранении. Выдвинутые авторами гипотезы по влиянию активности воды, температуре варки мармелада и кристаллизации при уваривании карамельной массы в целом согласуются с опубликованными ранее теоретическими исследованиями других ученых (Кондратьев и соавт., 2022; Заворохина и соавт., 2024; Солдатова и соавт., 2019; Юшина., 2018).

Изменения качественных характеристик шоколадных конфет в процессе хранения обусловлены качеством сырья, соблюдением технологических опера-

ций и температурных режимов при изготовлении, физико-химическими процессами, происходящими при хранении (Barsalou et al., 2023; Кондратьев и соавт., 2022). Текущее исследование имеет прикладной характер: авторами даны конкретные технологические рекомендации по корректировке соотношения шоколада и пралины (1:1), предложены оптимальные режимы производства многослойных нарезных и корпусных конфет с пралиновой начинкой, в том числе описаны все этапы технологии, позволяющие избежать появления наиболее часто возникающих при хранении дефектов;

Ограничением исследования может служить различный химический состав сырьевых компонентов, используемых для производства шоколадных изделий. Для достижения требуемого качества и устранения возможных дефектов при хранении конфет следует строго соблюдать режимы технологического цикла и требования к качеству полуфабрикатов — пралиновой, мармеладной, карамельной массы, а также использовать стандартные методы для оценки их влажности.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленном исследовании с помощью метода «5 Whys analysis» проанализированы основные дефекты шоколадных корпусных и нарезных конфет, появляющиеся в процессе хранения. Выявлено, что на появление дефектов нарезных конфет влияют температурные режимы варки мармелада и его структурные показатели. Определено, что добавление 5 % какао-масла в шоколад, повышает его текучесть, при этом выявлено, что наилучшее качество при хранении в течение 108 суток показал образец с внесением 5 % какао-масла от общего содержания шоколада. Основные достижения в области повышения качества шоколадных конфет при хранении включают предложения новых технологических приемов, позволяющих предотвратить появление дефектов. Значимость исследования заключается в возможности практического применения разработанных технологий на предприятии кондитерской промышленности. В этой связи целесообразно проведение дальнейших исследований по сравнительной оценке влияния различных компонентов шоколадных конфет на их хранимоспособность. Предложенные технологические решения имеют положительный эффект, позволяющий

повысить качество выпускаемых шоколадных изделий при хранении и внедрены на предприятиях по выпуску авторских конфет на предприятиях г. Тюмень. Дальнейшие исследования будут направлены на изучение органолептических показателей нарезных и корпусных конфет, изготовленных с использованием арктического растительного сырья в том числе в процессе хранения.

## АВТОРСКИЙ ВКЛАД

**Шамиль Асхабович Шамилов:** разработка концепции, разработка методологии, проведение исследования, визуализация.

**Наталья Валерьевна Заворохина:** научное руководство, предоставление ресурсов, валидация ре-

зультатов, написание рукописи — рецензирование и редактирование.

**Ольга Викторовна Чугунова:** формальный анализ, курирование данных.

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

**Shamil A. Shamilov:** conceptualization, methodology, investigation, visualization.

**Natalia V. Zavorokhina:** supervision, resources, validation, writing — review & editing.

**Olga V. Chugunova:** formal analysis, data curation

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Алексейчева, Е.Ю., Магомедов, М.Д., & Сидоренко, С.В. (2024). Особенности покупательского поведения на российском рынке молочной продукции. *Экономические системы*, 17(1), 45–50. <http://dx.doi.org/10.29030/2309-2076-2024-17-1-45-50>
- Alekseicheva, E.Yu., Magomedov, M.D., & Sidorenko S.V. (2024). Features of consumer behavior in the Russian dairy market. *Economic Systems*, 17(1), 45–50. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.29030/2309-2076-2024-17-1-45-50>
- Бутова, С.Н., & Бабарыкина, С.В. (2019). Применение заменителей масла какао в производстве конфет с корпусом типа пралине. *Молодой ученый*, 39(227), 176–179.
- Butova, S.N., & Babarykina, S.V. (2019). Application of cocoa butter substitutes in the production of candies with praline-type body. *Young Scientist*, 39(227), 176–179. (In Russ.)
- Верещачин, А.Л., Резниченко, И.Ю., & Бычин, Н. В. (2019). Термический анализ в исследовании качества шоколада и кондитерских изделий. *Техника и технология пищевых производств*, 49(2), 289–300. <http://dx.doi.org/10.21603/2074-9414-2019-2-289-300>
- Vereshchagin, A.L., Reznichenko, I.Yu., & Bychin, N.V. (2019). Thermal analysis in the quality study of chocolate and confectionery products. *Food Processing: Techniques and Technology*, 49(2), 289–300. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-2-289-300>
- Головачева, О.В., Захарова, И.И., Николаева, Т.А., & Сухова, О.В. (2023). Применение молодых сосновых шишек в кондитерском производстве на примере конфет ручной работы. *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК — продукты здорового питания*, (3), 95–97. <http://dx.doi.org/10.24412/2311-6447-2023-3-95-97>
- Golovacheva, O.V., Zakharova, I.I., Nikolaeva, T.A., & Sukhova, O.V. (2023). Application of young pine cones in confectionery production on the example of handmade sweets. *Technologies for the Food and Processing Industry of AIC-Healthy Food*, (3), 95–97. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.24412/2311-6447-2023-3-95-97>
- Демидова, И.Б., & Ловачев, Л.Н. (1982). Состав и изменения липидной фракции при хранении казеинатов натрия. *Известия ВУЗов. Пищевая технология*, (1), 36–39.
- Demidova, I. B., & Lovachev, L. N. (1982). Composition and changes in the lipid fraction during storage of sodium caseinates. *Izvestiya VUZov. Food Technology*, (1), 36–39. (In Russ.)
- Дмитриченко, М.И., Запорожец, А.И., & Уголев, Д.А. (1987). Количественная оценка животного масла при хранении. *Известия ВУЗов. Пищевая технология*, (1), 112–115.
- Dmitrichenko, M.I., Zaporozhets, A.I., & Ugolev, D.A. (1987). Quantitative evaluation of animal oil during storage. *Izvestiya VUZov. Food technology*, (1), 112–115. (In Russ.)
- Заворохина, Н.В., Шамилов, Ш.А., Чугунова, О.В., & Тарасов, А.В. (2024). Увеличение хранимоспособности шоколадных конфет за счет снижения активности воды в начинках-ганашах. *Вестник КрасГАУ*, (6), 188–197. <http://dx.doi.org/10.36718/1819-4036-2024-6-188-197>
- Zavorokhina, N.V., Shamilov, Sh.A., Chugunova, O.V., & Tarasov, A.V. (2024). Increasing the storage capacity of chocolates by reducing the activity of water in ganache fillings. *Bulliten KrasSAU*, (6), 188–197. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.36718/1819-4036-2024-6-188-197>
- Ильина, Т.Ф. (2016). Заменители масла какао «СолПро». *Пищевая промышленность*, (9), 54–55.

- Pyina, T.F. (2016). SolPro cocoa butter substitutes. *Food Industry*, (9), 54–55. (In Russ.)
- Кондратьев, Н.Б. (2012). Причины порчи кондитерских изделий. *Хлебопродукты*, (8), 54–55.
- Kondratyev, N.B. (2012). Causes of spoilage of confectionery products. *Khleboprodukty*, (8), 54–55. (In Russ.)
- Кондратьев, Н.Б., Осипов, М.В., & Федоренко, К.В. (2023). Прогнозирование скорости миграции жиров в шоколадных конфетах с начинками из масс пралине. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, 12 (201), 237–245. <http://dx.doi.org/10.36718/1819-4036-2023-12-237-245>
- Kondratiev, N.B., Osipov, M.V., & Fedorko, K.V. (2023). Predicting the fats migration rate in chocolates with praline mass fillings. *Bulliten KrasSAU*, 12(201), 237–245. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.36718/1819-4036-2023-12-237-245>
- Кондратьев, Н.Б., Руденко, О.С., Осипов, М.В., & Баженова, А.Е. (2022). Прогнозирование срока годности кондитерских изделий в условиях ускоренного хранения: обзор предметного поля. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 22–39. <http://dx.doi.org/10.36107/spfp.2022.354>
- Kondratyev, N.B., Rudenko, O.S., Osipov, M.V., & Bazhenova, A.E. (2022). Forecasting the shelf life of confectionery products under accelerated storage conditions: A scoping review. *Storage and Processing of Farm Products*, (4), 22–39. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.36107/spfp.2022.354>
- Криворотов, В.С., & Минбаева, Л.Ф. (2006). Управление экономической устойчивостью кондитерских предприятий. *Terra Economicus*, (4), 213–215.
- Krivorotov, V.S., & Minbaeva, L.F. (2006). Management of economic sustainability of confectionery enterprises. *Terra Economicus*, (4), 213–215. (In Russ.)
- Мазукабзова, Э. В., Зайцева, Л. В., Кондратьев, Н. В., Петрова, Н. А., & Казанцев, Е. В. (2021). Сравнительное исследование отечественных импортных заменителей масла какао лауринового типа для производства кондитерских глазурей. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, 12(177), 247–253. <http://dx.doi.org/10.36718/1819-4036-2021-12-247-253>
- Mazukabzova, E. V., Zaitseva, L. V., Kondratyev, N. V., Petrova, N. A., & Kazantsev, E. V. (2021). Comparative studying the domestic and imported lauric cocoa butter substitutes for confectionery glazes production. *Bulliten KrasSAU*, 12(177), 247–253. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.36718/1819-4036-2021-12-247-253>
- Молибога, Е. А. (2011). Показатель активности воды как предмет управления качеством. *Вестник Омского государственного аграрного университета*, 1(1), 95–97.
- Moliboga, E. A. (2011). Index of activity of water as an article of management by quality. *Bulletin of Omsk State Agrarian University*, 1(1), 95–97. (In Russ.)
- Першина, О. Н., & Помозова, В. А. (2015). Сравнительный анализ эффективности водоудерживающих добавок в производстве термостабильного фруктового джема. *Пищевая промышленность*, (3), 20–23.
- Pershina, O. N., & Pomozova, V. A. (2015). The comparative analysis of efficiency of water retaining additives in production of thermostable fruit jam. *Food Industry*, (3), 20–23. (In Russ.)
- Потороко, И. Ю., Кади, А. М. Я., Аньум, В., & Руськина, А.А. (2021). Молекулярный докинг растительных стабилизирующих частиц для функциональных эмульсионных пищевых систем. *Индустрия питания*, 8(2), 84–92. <http://dx.doi.org/10.29141/2500-1922-2023-8-2-9>
- Potoroko, I. Yu., Kadi, A. M. Y., Anium, V., & Ruskina, A.A. (2021). Molecular docking for the functional properties evaluation of plant stabilizing particles in the emulsion food systems. *Food Industry*, 8(2), 84–92. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.29141/2500-1922-2023-8-2-9>
- Рыжакова, А. В., & Бабина, О.А. (2017). Мировой рынок кондитерских изделий. *Международная торговля и торговая политика*, 4(12), 59–74.
- Ryzhakova, A. V., & Babina, O.A. (2017). The global confectionery market. *International trade and trade policy*, 4(12), 59–74. (In Russ.)
- Солдатова, Е. А., Мистенева С.Ю., & Савенкова, Т.В. (2019). Условия и критерии обеспечения хранимоспособности кондитерских изделий. *Пищевая промышленность*, (5), 82–85. <http://dx.doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10078>
- Soldatova, E. A., Misteneva, S. Yu., & Savenkova, T. V. (2019). Conditions and criteria for ensuring the storability of confectionery products. *Food Industry*, (5), 82–85. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10078>
- Тарасенко, А. В. (2018). Исследование свойств пектиновых веществ для производства продуктов здорового питания. *Новые технологии*, 19(4), 163–167. <http://dx.doi.org/10.47370/2072-0920-2023-19-4-163-167>
- Tarasenko, A. V. (2023). Study of the properties of pectin substances for the production of healthy food products. *New Technologies*, 19(4), 163–167. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.47370/2072-0920-2023-19-4-163-167>
- Титов, А. К. (2021). Состояние и перспективы развития кондитерской промышленности в Российской Федерации на современном этапе. *Вестник Академии знаний*, 6(47) 319–323. <http://dx.doi.org/10.24412/2304-6139-2021-6-319-323>
- Titov, A. K. (2021). State and prospects of development of the confectionery industry of the Russian federation at the present stage. *Bulletin of the Academy of Knowledge*, 6(47) 319–323. (In Russ.) <http://dx.doi.org/10.24412/2304-6139-2021-6-319-323>
- Тихонова, И. (2020). Производство кондитерских изделий в России. *Кондитерские изделия*, (5), 21–38.
- Tikhonova, I. (2020). Production of confectionery products in Russia. *Confectionery Products*, (5), 21–38. (In Russ.)
- Ткешелашвили, М. Е., Бобожонова, Г. А., & Сорокина, А. В. (2020). Разработка конфет типа ассорти повышенной пищевой ценности и сохраняемой. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 139–151. <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.319>

- Tkshelashvili, M. E., Bobozhonova, G. A., & Sorokina, A. V. (2020). Development of sweets of the assort type increased nutritional value and shelf life. *Storage and Processing of Farm Products*, (4), 139–151. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.319>
- Шамилов, Ш.А., & Заворохина, Н.В. (2023). Разработка методов повышения сроков хранения шоколадных изделий. *Урал — драйвер неоиндустриального и инновационного развития России: материалы V Уральского экономического форума* (с. 281–284). Екатеринбург: Уральский государственный экономический университет.
- Shamilov, Sh. A., & Zavorokhina, N. V. (2023). Development of methods to increase the shelf life of chocolate products. *Ural — A driver of neoindustrial and innovative development of Russia: materials of the V Ural Economic Forum* (pp. 281–284). Ekaterinburg: Ural State University of Economics. (In Russ.)
- Шамилов, Ш. А., & Заворохина, Н. В. (2023). Разработка шоколадных конфет длительного срока хранения для населения Арктических зон РФ. *Здоровое питание и нутриционная поддержка: медицина, образование, инновационные технологии* (с. 64–65). Санкт-Петербург: Санкт-Петербургское региональное отделение общественной организации «Союз педиатров России».
- Shamilov, Sh. A., & Zavorokhina, N. V. (2023). Development of long shelf life chocolates for the population of the Arctic zones of the Russian Federation. *Healthy nutrition and nutritional support: medicine, education, innovative technologies* (pp. 64–65). St. Petersburg: St. Petersburg Regional Branch of the Union of Paediatricians of Russia Public Organisation. (In Russ.)
- Шодиев, Д. А., & Курбонов, Х. А. (2022). Перспективы использования пищевых добавок в пищевой промышленности. *Universum: технические науки*, 5(98), 24–26.
- Shodiev, D. A., & Kurbonov, H. A. (2022). Prospects for the use of food additives in the food industry. *Universum: Technical Sciences*, 5(98), 24–26. (In Russ.)
- Юшина, Ю. К. (2018). Актуальные вопросы установления сроков годности пищевых продуктов. *Все о мясе*, (3), 48–51.
- Yushina, Y. K. (2018). Actual issues of establishing the shelf life of food products. *All about Meat*, (3), 48–51. (In Russ.)
- Afoakwa, E. O., Paterson, A., Fowler, M., & Vieira, J. (2008). Effects of tempering and fat crystallisation behaviour on microstructure, mechanical properties and appearance in dark chocolate systems. *Journal of Food Engineering*, 2(89), 128–136. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.04.021>
- Afoakwa, E. O. (2010). Chocolate production and consumption patterns. *Chocolate Science and Technology*, 1–11. <http://dx.doi.org/10.1002/9781444319880.ch1>
- Barsalou, M., & Starzyńska, B. (2023). Inquiry into the use of five whys in industry. *Quality Innovation Prosperity*, 27(1), 62–78. <https://doi.org/10.12776/qip.v27i1.1771>
- Castro-Alayo, E., Balcázar-Zumaeta, C., Torrejón-Valqui, L., Marleni, M., Ilse, S., & Fiorella, P. (2023). Effect of tempering and cocoa butter equivalents on crystallization kinetics, polymorphism, melting, and physical properties of dark chocolates. *Food Science and Technology*, 173. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114402>
- Chen, J., Ghazani, S. M., & Stobbs, J. A. (2021). Tempering of cocoa butter and chocolate using minor lipidic components. *Nat Commun*, (12), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25206-1>
- De Clercq, N., Walle, D., Pelsmaeker, S., Ghellynck, X., & Dewettinck, K. (2017). Functionality of cocoa butter equivalents in chocolate products. *European Food Research and Technology*, 243. <https://doi.org/10.1007/s00217-016-2745-6>
- Debaste, F., Kegelaers, Y., Liégeois, S., Ben Amor, H., & Halloin, V. (2008). Contribution to the modelling of chocolate tempering process. *Journal of Food Engineering*, 4(88), 568–575. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.03.019>
- Fadel, H., Mageed, M., Samad, A., & Lotfy, S. (2006). Cocoa substitute: Evaluation of sensory qualities and flavour stability. *Eur. Food Res. Technol*, 223, 125–131. <https://doi.org/10.1007/s00217-005-0162-3>
- Killian, L., & Coupland, J. (2012). Manufacture and application of water-in-oil emulsions to induce the aggregation of sucrose crystals in oil: a model for melt-resistant chocolate. *Food Biophysics*, 7, 124–131. <https://doi.org/10.1007/s11483-012-9249-0>
- Laughter, J., Brown, B., & Anantheswaran, R. (2024). Effect of curing conditions on heat resistance in white chocolate. *Food Science & Nutrition*. <https://doi.org/10.1002/fsn3.4292>
- Lund, D. (2019). Owen Fennema: Food chemist extraordinaire. *Annual Review of Food Science and Technology*, 10(1), 21–41. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-032818-121847>
- Macháková, L., Hřivna, L., Nedomová, Š., & Jůzl, M. (2015). The effect of storage temperature on the quality and formation of blooming defects in chocolate confectionery. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 9(1), 39–47. <https://doi.org/10.5219/425>
- Malau, K., Ataribaba, Yu., & Armetha, V. (2024). The effect of product information on the consumers preference of local various chocolate bar. *Journal of Applied Agricultural Science and Technology*, (8), 241–254. <https://doi.org/10.55043/jaast.v8i2.264>
- Shandrivska, O., & Atamanchuk, K. (2024). Research of the market of chocolate and chocolate products in the world. *Journal of Lviv Polytechnic National University. Series of Economics and Management Issues*, (8), 43–61. <https://doi.org/10.23939/semi2024.01.043>
- Sonwai, S., Ornlá-Ied, P., & Aneknun, T. (2015). Lauric Fat cocoa butter replacer from krabok (*Irvingia Malayana*) seed fat and coconut oil. *Journal of Oleo Science*, 64(4), 357–365. <https://doi.org/10.5650/jos.ess14244>
- Svanberg, L., Ahrné, L., Lorén, N., & Windhab, E. (2011). Effect of pre-crystallization process and solid particle addition on cocoa butter crystallization and resulting microstructure in chocolate model systems. *Procedia Food Science*, (1), 1910–1917. <https://doi.org/10.1016/j.profoo.2011.09.281>

# Концепция разработки ротационных вискозиметров на базе технологий промышленного интернета вещей

<sup>1</sup> МИРЭА – Российский технологический университет, г. Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> Российский биотехнологический университет, г. Москва, Российская Федерация

С. А. Рылов<sup>1</sup>, И. В. Кротов<sup>2</sup>, М. М. Благовещенская<sup>2</sup>,  
В. Г. Благовещенский<sup>1</sup>, И. Г. Благовещенский<sup>1</sup>, А. Е. Яблоков<sup>2</sup>

## КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Сергей Андреевич Рылов

E-mail: rylov@mirea.ru

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Рылов, С. А., Кротов, И. В., Благовещенская, М. М., Благовещенский, В. Г., Благовещенский, И. Г., & Яблоков, А. Е. (2024). Концепция разработки ротационных вискозиметров на базе технологий промышленного интернета вещей. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(4), 70-83. <https://doi.org/10.36107/spfr.2024.4.453>

ПОСТУПИЛА: 15.01.2024

ДОРАБОТАНА: 23.11.2024

ПРИНЯТА: 16.12.2024

ОПУБЛИКОВАНА: 27.12.2024

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.



## АННОТАЦИЯ

**Введение:** Вязкость является одним из основных параметров, характеризующих оптимальное протекание технологических процессов и определяющих качество готового продукта. Показаны недостатки используемых методов контроля вязкости (в том числе указанных в многочисленных ГОСТах), проводимого в лабораториях пищевых предприятий, забор проб при этом осуществляется вручную. В связи с этим возникает необходимость в создании средств автоматического контроля вязкости пищевых масс, работающих в производственных условиях в режиме реального времени с использованием интеллектуальных технологий.

**Цель:** Разработка концепции создания интеллектуальных цифровых вискозиметров на базе технологий промышленного интернета вещей, работающих в режиме реального времени на линиях производства.

**Объекты и методы исследования:** объектом исследования являются приборы автоматического контроля вязкости пищевых продуктов. Проведен обзор исследований, показывающих важность контроля вязкости различных пищевых продуктов, а также существующих методов и средств контроля вязкости. Даются сведения о последовательности выполнения исследования. Анализ результатов осуществленных экспериментальных исследований позволил выбрать ротационный метод автоматического контроля вязкости с использованием промышленного интернета вещей. Приведено описание представленной в статье конструкции разработанного датчика вязкости, даны полученные технические характеристики. Поставленные в исследовании задачи решены с использованием технологий интернет вещей. Обработка результатов исследований и анализ данных проводились с применением MatLab. Исходными материалами для разработки концепции вискозиметра являлись протоколы передачи данных IoT: AMQP, JMS, REST, DDS.

**Результаты:** Исследована и обоснована архитектура интеллектуального ротационного автоматического вискозиметра, которая была дополнена в результате исследований коммуникационными модулями контроля и управления. Показана возможность гибкой автоматической конфигурации каналов передачи данных. Продемонстрирована необходимость использования дополнительных периферийных модулей для реализации функций IoT вискозиметра. Разработана аппаратно-программная архитектура IoT ротационного вискозиметра с возможностью интеграции передачи данных в другие IoT платформы. Спроектирован и собран прототип IoT ротационного вискозиметра на базе технологий промышленного интернета вещей. Представлено программное взаимодействие нескольких IoT вискозиметров.

**Выводы:** Интеграция разработанного вискозиметра в сеть промышленного интернета вещей дает возможность автоматизировать контроль вязкости пищевых масс в потоке, минимизировать время обработки данных и их передачи. Появляется возможность сквозной передачи данных для реализации многоуровневой сетевой архитектуры, что упрощает интеграцию данных контроля вязкости в IoT системы предприятия. Это позволяет увеличить надежность существующих АСУТП пищевых предприятий за счет уменьшения человеческого фактора и автоматизированной передачи и обработки данных в существующую на предприятиях систему управления.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

цифровой ротационный вискозиметр; автоматический контроль в потоке; промышленный интернет вещей

# The Concept of Developing Rotational Viscometers Based on Industrial Internet of Things Technologies

<sup>1</sup> MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Moscow, Russian Federation

Sergey A. Rylov<sup>1</sup>, Igor V. Krotov<sup>2</sup>, Margarita M. Blagoveshchenskaya<sup>2</sup>, Vladislav G. Blagoveshchensky<sup>1</sup>, Ivan G. Blagoveshchensky<sup>1</sup>, Alexander E. Yablokov<sup>2</sup>

## CORRESPONDENCE:

**Sergey A. Rylov,**

E-mail: rylov@mirea.ru

## FOR CITATIONS:

Rylov, S.A., Krotov, I.V., Blagoveshchenskaya, M.M., Blagoveshchensky, V.G., Blagoveshchensky, I.G., & Yablokov, A.E. (2024). The concept of developing rotational viscometers based on industrial internet of things technologies. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(4), 70-85. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.4.453>

RECEIVED: 15.01.2024

REVISED: 23.11.2024

ACCEPTED: 16.12.2024

PUBLISHED: 27.12.2024

## DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



## ABSTRACT

**Introduction:** Viscosity is one of the key parameters defining the optimal flow of technological processes and determining the quality of the final product. The drawbacks of currently used viscosity control methods (including those specified in numerous GOST standards), which are typically conducted in food enterprise laboratories with manual sampling, are highlighted. This necessitates the creation of automatic viscosity control devices capable of operating in real-time production conditions using artificial intelligence.

**Purpose:** To develop a concept for creating intelligent digital viscometers based on Industrial Internet of Things (IIoT) technologies, operating in real-time on production lines.

**Materials and Methods:** The focus of the research is on devices designed for the automatic control of viscosity in food products. A literature review was performed highlighting the significance of viscosity control for different food items and examining the current methods and instruments used for viscosity control. The study outlines the sequence of research activities. The analysis of experimental results enabled the selection of a rotational method for automatic viscosity control using IIoT technologies. The article describes the design of the developed viscosity sensor and presents its technical characteristics. The research objectives were addressed using IIoT technologies. Data processing and analysis were performed using MATLAB. Data transmission protocols such as AMQP, JMS, REST, and DDS served as the foundational materials for developing the viscometer concept.

**Results:** The architecture of an intelligent rotational automatic viscometer was studied and substantiated. Communication modules for monitoring and control were added based on the research findings. The feasibility of flexible automatic configuration of data transmission channels was demonstrated. The necessity of additional peripheral modules for implementing IIoT viscometer functions was established. The hardware-software architecture of an IIoT rotational viscometer was developed, allowing for data transmission integration into other IIoT platforms. A prototype of an IIoT rotational viscometer based on IIoT technologies was designed and assembled. The software interaction between multiple IIoT viscometers was also presented.

**Conclusion:** Integrating the developed viscometer into the Industrial Internet of Things network enables the automation of in-stream viscosity control of food masses, minimizing data processing and transmission time. This facilitates seamless data transmission for implementing a multi-level network architecture, simplifying the integration of viscosity control data into an enterprise's IIoT systems. Consequently, this improves the reliability of existing automated control systems at food enterprises by reducing human error and automating data transfer and processing within the existing management systems.

## KEYWORDS

digital rotational viscometer; in-stream automatic control; Industrial Internet of Things

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время пищевая промышленность России представляет собой одну из стратегических отраслей экономики, которая призвана обеспечить население страны необходимыми по количеству и качеству продуктами питания (Благовещенский, 2024; Кучумов и соавт., 2023). Основная задача управления качеством пищевой продукции — обеспечить стабильность производственных процессов, не допустить появления брака и других несоответствий выпускаемых пищевых продуктов установленным требованиям (Благовещенский и соавт., 2021). Поэтому для эффективного управления производством необходимо наличия достоверных данных о показателях качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции (Благовещенский, 2018; Благовещенский и соавт., 2022). При этом важно, чтобы данные были получены в кратчайшие сроки, так как оперативность, достоверность и своевременность получения данных значительно влияет на скорость и правильность принятия решений (Благовещенский и соавт., 2022; Благовещенский, 2020).

Одним из основных параметров, определяющих качество сырья, полуфабрикатов и готовой пищевой продукции, характеризующих оптимальное протекание технологических процессов в установленном и неустановленном режимах и широко используемых при создании систем автоматического регулирования и управления этими процессами является вязкость (Кротов и соавт., 2023; Благовещенский и соавт., 2023; Alamri et al., 2012; Brock et al., 2008; Kuo et al., 2008). Это объясняется как простотой измерения данного параметра, так и тем, что вязкость тесно связана со структурой вещества и хорошо отражает изменения в молекулярном строении исследуемой массы, трудно улавливаемые другими методами физико-химического анализа (Haidekker et al., 2002; Sahasrabudheb et al., 2017; Благовещенский, 2017).

Существующие в настоящее время методы контроля вязкости пищевых масс далеки от совершенства, поскольку оценку реологических свойств проводят в лабораториях пищевых предприятий лаборанты-технологи. Забор проб и темперирование контролируемых масс при этом осуществляется вручную (Благовещенский, 2018; Xiaohong, 2002; Thirawong et al., 2008). При этом вязкость

определяют по методу выборочного отбора проб из партии отдельных образцов продукции, хотя в соответствии с существующим ГОСТом контроль вязкости должен проводиться на протяжении всей смены этого производства и своевременно влиять на качество получаемой продукции (Dhrisyal et al., 2023; Балыхин и соавт., 2017a; Балыхин и соавт., 2019). Таким образом, существующий контроль не позволяет реализовать автоматическое управление качеством готовой пищевой продукции и имеет фактор субъективности (Ding, 2022; Балыхин и соавт., 2017a; Балыхин и соавт., 2017b).

Назрела необходимость повышения объективности и своевременности контроля вязкости пищевой продукции за счет создания средств автоматического контроля, работающих непрерывно в производственных условиях в режиме реального времени на базе использования высокоэффективных интеллектуальных технологий. Проведенные исследования в области интеллектуальных технологий показали, что высокоэффективной современной технологией является технология промышленного интернета вещей (Averiyanihin et al., 2021; Jadaun et al., 2023; Благовещенский, 2018; Кучумов и соавт., 2023; Рылов, 2023; Рылов и соавт., 2022). Однако авторами этих работ не рассматриваются вопросы, связанные с разработкой концепции создания автоматических цифровых вискозиметров, работающих в режиме реального времени на линиях производства, на базе интеллектуальных технологий промышленного интернета вещей, поэтому данный вопрос является актуальным до настоящего времени. Успешное решение этой задачи позволит: непрерывно, в потоке, на линии производства контролировать вязкость полуфабрикатов и готовой продукции в течение всего технологического процесса; обеспечить стабильность технологических процессов, существенно уменьшить уровень брака, снизить потери рабочего времени, сырья и энергии, повысить качество готовых изделий.

Целью данного исследования является разработка концепции создания автоматических цифровых вискозиметров, работающих в режиме реального времени на линиях производства, на базе интеллектуальных технологий промышленного интернета вещей.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Объекты исследования

Объектом исследования являются ротационные вискозиметры контроля качества пищевых продуктов и процессы автоматического сбора, анализа и обработки информации в задачах непрерывного контроля вязкости в режиме реального времени, работающих на линиях производства, с экспериментальными исследованиями оптимальной конструкции приборов, их возможности использовать высокоэффективные интеллектуальные технологии, регистрации результатов измерения в цифровом виде.

### Методы, материалы и инструменты

Поставленные в исследовании задачи решены с использованием следующих методов: технологии промышленного интернета вещей, теории реологии, элементов теории искусственного интеллекта, методов системного анализа и математической статистики. Обработка результатов исследований и анализ данных производилась с применением MatLab.

Исходными материалами для разработки концепции вискозиметра являлись протоколы передачи данных IoT: AMQP, JMS, REST, DDS. Инструментом для реализации быстрого действия обработки информации внутри вискозиметра была операционная система реального времени FreeRTOS (Averiyanihin, 2021, p. 17–33).

Для разработки программного обеспечения и прошивки вискозиметра использовались следующие инструменты: ПК с характеристиками: Процессор Intel Xeon CPU E5–2670v3 @2.30GHz, Память 24 Гб DDR4, SDD 256Гб, ОС Windows 10 x64. Для организации сети с включением вискозиметра использовался сетевой роутер Mikrotik RB2011UiAS-2HnD-IN 5x10/100. Для разработки программного обеспечения системы управления для Raspberry PI Pico Zero использовалось SDK от разработчиков аппаратной архитектуры RP2040. Для реализации быстрого действия обработки информации внутри датчика использовалась операционная система реального времени FreeRTOS (Аверьянихин и соавт., 2020, с. 56–63). В качестве среды разработки на языке

программирования C использовалось ПО Visual Studio Code (Shivam et al., 2023, pp. 33–38). Для отладки вывода информации в COM порт датчика использовалось ПО PuTTY. Для изготовления прототипа корпуса вискозиметра, используемого в экспериментальных исследованиях, был задействован FDM 3D принтер Anet A8. В работе применялись методы декомпозиции по уровням автоматизации и декомпозиции по функционалу, выполняемому отдельными аппаратными компонентами системы; а также методы обобщения информации из современных источников по тематике исследования.

### Технологии промышленного интернета вещей (IIoT)

Проведенные исследования возможности использования интеллектуальных технологий для автоматического контроля вязкости пищевых масс в потоке показали перспективность применения технологии промышленного интернета вещей (IIoT) хранить в себе информацию, а также передавать актуальные измеренные данные датчиков вязкости и интегрироваться в системы ЛИМС (LIMS), систему удаленного технического обслуживания (ТОиР). Помимо этого, использование подходов промышленного интернета вещей позволяет операторам и технологам гибко контролировать параметры процесса. Возможности датчиков вязкости на базе использования технологии интернета вещей представлены на Рисунке 1.

#### Рисунок 1

Возможности датчиков вязкости на базе использования технологии интернета вещей

#### Figure 1

Capabilities of Viscosity Sensors Based on Internet of Things Technology



## Оборудование

В исследованиях был использован автоматический ротационный вискозиметр (Благовещенская, 1991). Вискозиметр состоит из двух автономных, конструктивно законченных блоков, соединенных между собой: датчика вязкости и блока цифровой индикации. В качестве блока индикации использован серийно выпускаемый цифровой тахометр типа ФТИ-1. Схема конструкции автоматического ротационного датчика вязкости представлена на Рисунке 2.

Внутри датчика вязкости смонтированы: электродвигатель 1, вращающий чувствительный элемент (ЧЭ) 5; электромагнитная муфта сцепления 2; соединяющая электродвигатель 1 с валом ЧЭ 5; диск 3 фототахометра с семьюдесятью двумя отверстиями (прорезями), закрепленный на валу ЧЭ 5 и расположенный между лампочкой Н1 и фотодиодом, помещенных в специальный патрон 4; электронный блок управления 6, предназначенный для определения момента достижения ЧЭ 5 заданной частоты вращения и управления работой прибора в целом; а также элементы электрической схемы. Конструкция прибора позволяет менять тела вращения, т.е. в зависимости от необходимого диапазона измерения вязкости и условий работы, на валу можно устанавливать ЧЭ различных размеров и конфигураций (цилиндры, диски, конусы различных размеров, и т.д.). При измерении прибором вязкости ЧЭ первичного преобразователя либо помещается в измерительную ячейку с исследуемой массой, которая может быть,

как проточной (при определении вязкости МПМ в потоке), так и не проточной (при определении вязкости в лабораториях). Вискозиметр питается от сети переменного тока напряжением 220В.

Неотъемлемой частью цифрового ротационного вискозиметра является измерительная ячейка, представляющая собой сосуд для заполнения ее исследуемой массой, имеющий клапаны для ввода и слива массы, а также снабженный водяной рубашкой для термостатирования исследуемой массы с двумя штуцерами для подвода к рубашке теплой воды (Рисунок 3).

Поскольку конструкция, форма и размеры измерительной ячейки оказывают значительное влияние на диапазон контролируемой вязкости пищевых масс и погрешность результатов ее измерения, нами были проведены экспериментальные исследования по определению вязкости шоколадных масс при использовании измерительных ячеек различной формы, размеров, конструкций. Меняли также расположение клапанов для ввода и слива исследуемой массы, что приводило к изменению глубины погружения чувствительного элемента в контролируемую смесь. Анализ полученных данных позволил нам выбрать оптимальную форму измерительной ячейки (цилиндрическую), ее размер ( $H = 0,25$  м  $\varnothing 0,20$  м), а также конфигурацию, размеры и местоположение чувствительного элемента, находящегося внутри измерительной ячейки. Полученную техническую характеристику смотри в Таблице 1.

Рисунок 2.

Схема конструкции автоматического ротационного датчика вязкости

Figure 2.

Diagram of the Design of an Automatic Rotational Viscosity Sensor

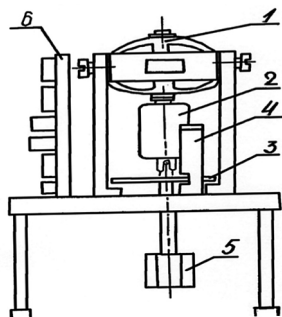


Рисунок 3

Измерительная ячейка цифрового ротационного вискозиметра

Figure 3

Measuring Cell of a Digital Rotational Viscometer



**Таблица 1**

Техническая характеристика

**Table 1**

Technical Specifications

Предел измерения вязкости, Па с	2÷25
Относительная погрешность, %	±2,5
Напряжение питания, В	220 ± 5÷10
Габаритные размеры, м, не более:	
первичный преобразователь вязкости	0,35 × 0,12 × 0,25
блок индикации	0,25 × 0,10 × 0,08
Масса прибора, кг, не более	5,0

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Экспериментальные исследования совершенствования структуры и конструкции интеллектуальных цифровых ротационных вискозиметров на базе технологий интернета вещей

Изучены возможности технологий интернета вещей для создания интеллектуального цифрового ротационного вискозиметра. Разработана структура интеллектуального ротационного вискозиметра на базе технологий интернета вещей. Осуществлен выбор средств его реализации.

Для создания интеллектуального цифрового ротационного вискозиметра изучены возможности технологий интернета вещей. Для этого исследована возможная концептуальная архитектура такого датчика вязкости. Полученная общая структура основных элементов интеллектуального ротационного датчика вязкости на базе промышленного интернета вещей представлена на Рисунке 4.

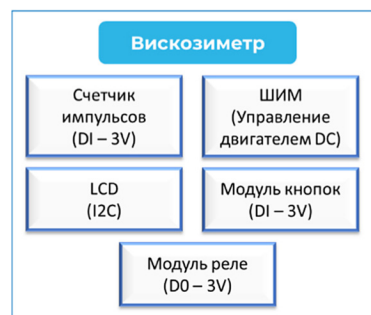
В результате проведенных экспериментальных исследований на автоматическом ротационном вискозиметре установлено, что исследуемый датчик вязкости имеет устаревшие шины и протоколы передачи данных. Это не позволяет выполнить интеграцию подобных устройств в современные IoT конвейерные производства на пищевых предприятиях.

**Рисунок 4**

Общая структура интеллектуального ротационного датчика вязкости

**Figure 4**

General Structure of an Intelligent Rotational Viscosity Sensor



Для интеграции датчика в сеть промышленного интернета вещей архитектура автоматического ротационного вискозиметра была дополнена модулями дополнительной коммуникации, например, Wi-Fi, Ethernet или др. Разработанная структура вискозиметра с дополненными модулями коммуникации представлена на Рисунке 5.

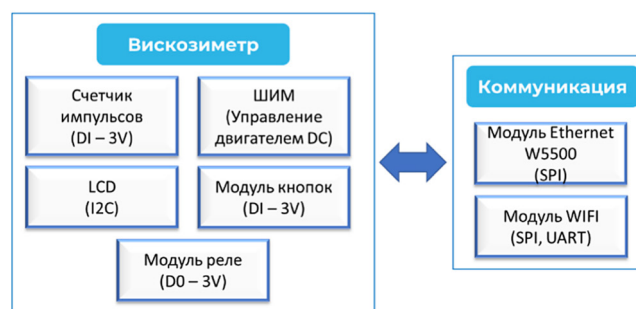
В качестве управляющего микропроцессора был выбран кристалл на базе архитектуры Cortex M0+ (Ding, Fan, 2022, pp. 479–496). В качестве готовой архитектуры была выбрана RP2040 (Dhrisya1 et al., 2023, pp. 402–405).

**Рисунок 5**

Структура ротационного вискозиметра с дополнительными коммуникационными модулями

**Figure 5**

Structure of a Rotational Viscometer with Additional Communication Modules



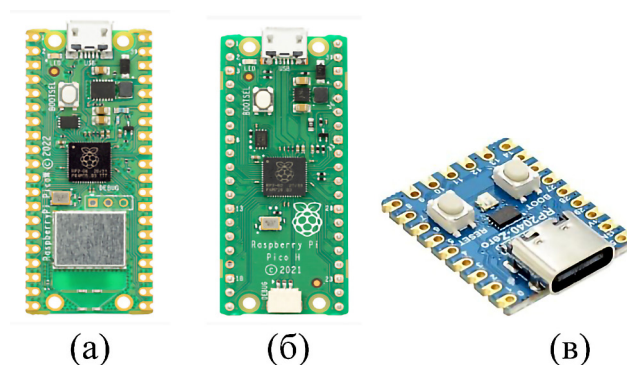
### Экспериментальные исследования совершенствования архитектуры интеллектуальных цифровых ротационных вискозиметров на базе технологий интернета вещей

Архитектура RP2040 имеет несколько модификаций — Raspberry Pi Pico W (Рисунок 6а), Raspberry Pi Pico (Рисунок 6б) и Raspberry Pi Pico Zero (Рисунок 6в).

В качестве готовой платы для реализации вискозиметра была выбрана плата Raspberry Pi Pico Zero в связи с ее минимальными размерами, имеющая следующие характеристики: платформа RP2040; CPU ARM Cortex M0+ (2x 133 МГц) 32бит; RAM: 264 КБ; Flash-память: 2 МБ; 26 GPIO; 2 x UART; 2 x SPI; 2 x I2C; 16 каналов ШИМ; Часы реального времени (RTC); Датчик температуры; Входное напряжение питания 3,3–5В.

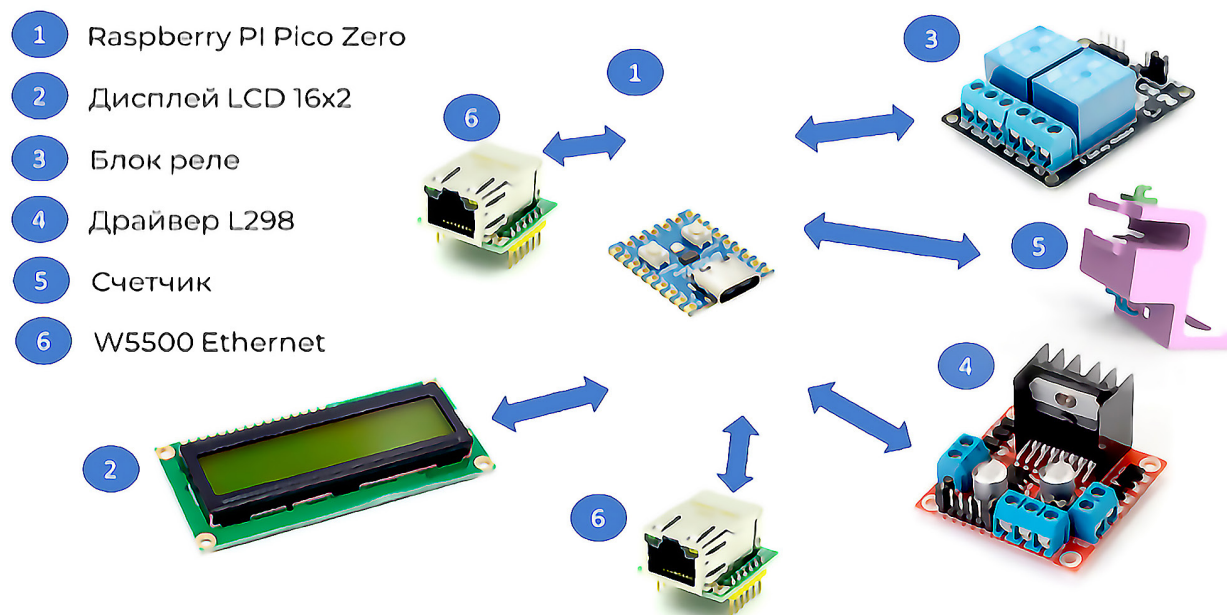
Осуществлен выбор дополнительных периферийных модулей, используемых для реализации необходимых функций IoT вискозиметра (Рисунок 7).

**Рисунок 6**  
Варианты модификаций микроконтроллера Raspberry Pi Pico  
**Figure 6**  
Variants of Raspberry Pi Pico Microcontroller Modification



*Примечание.* Raspberry Pi Pico W с Wi-Fi модулем (а), Raspberry Pi Pico без модуля Wi-Fi (б), Raspberry Pi Pico Zero (в)  
*Note.* Raspberry Pi Pico W with Wi-Fi module (a), Raspberry Pi Pico without Wi-Fi module (b), Raspberry Pi Pico Zero (c)

**Рисунок 7**  
Дополнительные периферийные модули  
**Figure 7**  
Additional Peripheral Modules



## Исследования по изучению, анализу и выбору инструментов для реализации быстрогодействия обработки информации внутри интеллектуального датчика вязкости

Изучены, проанализированы и выбраны инструменты для реализации быстрогодействия обработки информации внутри интеллектуального датчика вязкости. Для этого был проведен анализ существующих протоколов связи, который показал, что для реализации возможности интеграции вискозиметра с IoT и другими промышленными системами необходимо использовать стандартизированный протокол связи. На Рисунке 8 представлен сетевой стек и протоколы передачи данных IoT платформы.

Основными стандартами передачи данных в IIoT промышленных системах являются: MQTT; DDS; OPC UA; TSN.

В промышленных системах автоматизации в пищевых производствах используются надежные шины и каналы связи. При этом необходимо иметь возможность гибкой автоматической конфигурации каналов передачи данных. OPC UA в отличие

от MQTT, DDS и TSN стандартов позволяет в автоматическом режиме без предварительной настройки организовать передачу данных между всеми компонентами системы.

## Программное обеспечение работы интеллектуального ротационного вискозиметра в потоке

При проведении экспериментальных исследований была выполнена сборка прототипа и разработано программное обеспечение. На Рисунке 9 представлена таблица подключений дополнительных периферийных модулей к микроконтроллеру Raspberry PI Pico Zero.

Прототип устройства был размещен в корпусе, разработанном с учетом компонентов. Корпус был распечатан на 3D принтере. На Рисунке 10 представлен внешний вид собранного прототипа.

В качестве основы программного обеспечения IoT вискозиметра была выбрана операционная система FreeRTOS (Oliveira & Lima, 2023). Данная операционная система позволяет минимизировать время

**Рисунок 8**  
Сетевой стек и протоколы передачи данных IIoT платформы  
**Figure 8**  
Network Stack and Data Transfer Protocols of the IIoT Platform



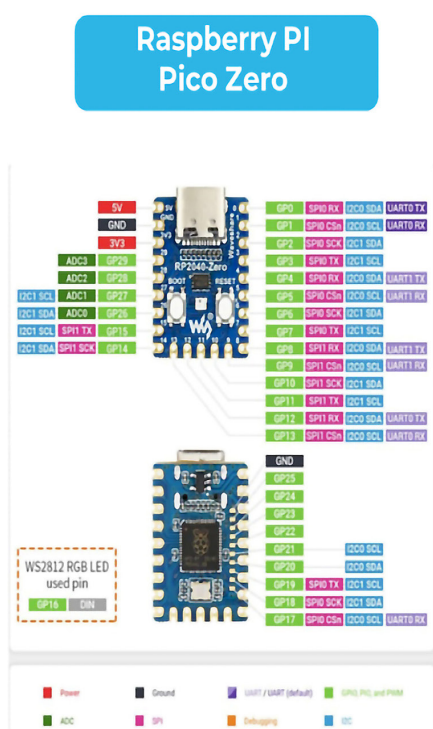
Примечание. Из Рылов и соавт. (2022).  
Note. From Rylov et al. (2022).

**Рисунок 9**

Таблица подключений к микроконтроллеру Raspberry Pi Pico Zero

**Figure 9**

Connection Table for the Raspberry Pi Pico Zero Microcontroller



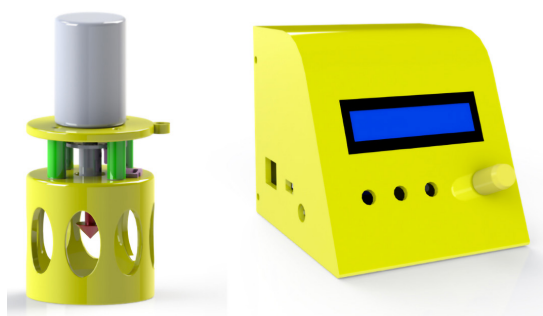
Вискозиметр		RP2040	
Драйвер L298	PWM	GP4	GP4
	DO1	GP5	GP5
	DO2	GP6	GP6
Модуль реле	DO3	GP7	GP7
	DO4	GP8	GP8
Модуль кнопок	DI1	GP9	GP9
	DI2	GP25	GP25
	DI3	GP24	GP24
Счетчик импульсов	DI4	GP23	GP23
	DO5	GP22	GP22
Регулятор скорости двигателя	ADC	ADC2	GP28
	LCD	I2C SDA	I2C1 SDA
LCD	I2C SCL	I2C1 SCL	GP15
	W55001	SPI CS	SPIO CSn
SPI SCK		SPIO SCK	GP2
SPI RX		SPIO RX	GP0
SPI TX		SPIO TX	GP3
W55002	SPI CS	SPII CSn	GP13
	SPI SCK	SPII SCK	GP10
	SPI RX	SPII RX	GP12
	SPI TX	SPII TX	GP11

**Рисунок 10**

Прототип интеллектуального ротационного IoT вискозиметра

**Figure 10**

Prototyp of an Intelligent Rotational IoT Viscometer



обработки данных и их передачи. Основные задачи (Tasks), выполняемые в ОС FreeRTOS: клиент OPC UA, алгоритм работы вискозиметра, диагностика, синхронизация времени (клиент NTP). В промышленных системах IoT датчики имеют возможность

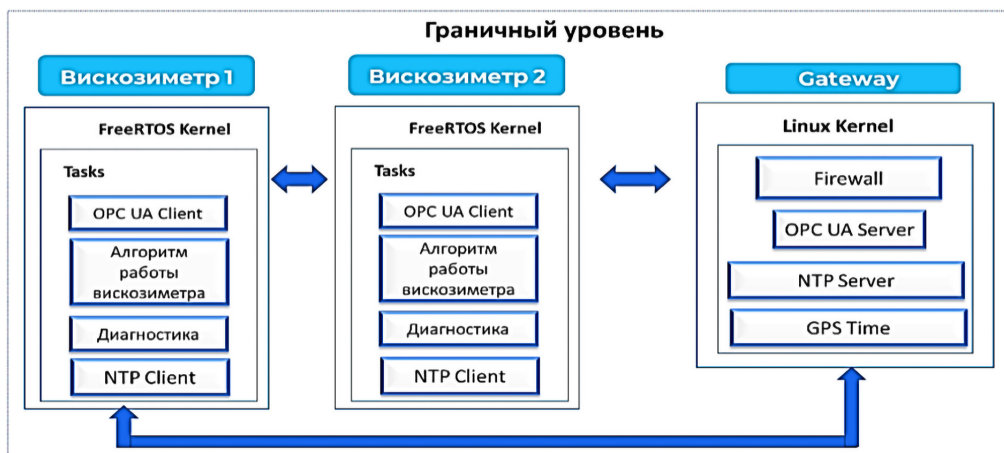
сквозной передачи данных для реализации многоуровневой сетевой архитектуры.

### Аппаратно-программный комплекс интеллектуального ротационного цифрового вискозиметра на базе технологий промышленного интернета вещей

На Рисунке 11 представлен аппаратно-программный комплекс программного взаимодействия нескольких IoT вискозиметров, объединенных последовательно друг с другом. Для надежности сетевых соединений реализована кольцевая топология сети.

В соответствии с IIRA IoT (Leitão et al., 2023) концепцией вискозиметры находятся на “граничном уровне”. Все потоки данных с вискозиметров, вторичная обработка и фильтрация выполняются в “Gateway” (Ding & Fan, 2023) устройстве, которое также находится на “граничном уровне”. Каждый

**Рисунок 11**  
Программная архитектура IIoT  
**Figure 11**  
Software Architecture of IIoT



из вискозиметров синхронизирует время с NTP сервером, который находится в "Gateway" устройстве. "Gateway" берет время посредством GPS (Jacoby et al., 2023) модуля. Таким образом, отсутствует защищенный канал связи с Internet, при этом сохраняется возможность синхронизации времени.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Цель исследования, состоящая в разработке концепции создания автоматических цифровых вискозиметров, работающих в режиме реального времени на линиях производства, на базе интеллектуальных технологий промышленного интернета вещей, достигнута, изучены закономерности и сформированы основные этапы их создания.

Известные к настоящему времени результаты исследований контроля вязкости пищевых масс, в основном, используют лабораторные автоматические приборы с ручным отбором проб (Благовещенский, 2018; Xiaohong, 2002; Thirawong et al., 2008). Существующие системы автоматического измерения вязкости АКВ EASY являются также лабораторными автоматическими аппаратами и предназначены для измерения в лабораторных условиях ньютоновских жидкостей, таких как сырая нефть масла, смазки, дизельное топливо, гидравлические масла и нефтепродукты (Dhrisyal et al., 2023; Балыхин и соавт., 2017а; Балыхин и соавт., 2019). Аппарат автома-

тического определения вязкости нефтепродуктов ВУН-20 (Ding, 2022; Балыхин и соавт., 2017а; Балыхин и соавт., 2017b) также является лабораторным и не позволяет реализовать автоматическое управление качеством готовой пищевой продукции в режиме реального времени на линиях производства.

Практически не исследовано влияние использования интеллектуальных технологий на минимизацию времени обработки данных и их передачу в сеть промышленного интернета. Также к настоящему времени не изучено программное взаимодействие нескольких интеллектуальных IoT вискозиметров на базе технологий промышленного интернета вещей.

Разработка в данном исследовании концепции создания автоматических цифровых вискозиметров, работающих в режиме реального времени на линиях производства, на базе интеллектуальных технологий промышленного интернета вещей, позволяет осуществлять сквозную передачу данных для реализации многоуровневой сетевой архитектуры, что упрощает интеграцию данных контроля вязкости в IoT системы предприятия. Это дает возможность автоматизировать контроль вязкости пищевых масс в потоке, а также увеличить надежность и эффективность существующих АСУТП пищевых предприятий за счет уменьшения человеческого фактора и автоматизированной передачи и обработки данных в существующую систему управления.

Использование технологий промышленного интернета вещей в автоматических цифровых вискозиметрах, работающих в режиме реального времени на линиях производства, являются перспективным научным направлением в совершенствовании автоматизации и управления технологическими процессами и производствами в пищевой промышленности.

## Ограничения исследования

Поскольку одним из недостатков существующего автоматического вискозиметра является низкая скорость обработки информации внутри датчика, были рассмотрены и проанализированы существующие инструментальные методы и средства. Обзор и анализ полученных в данном исследовании результатов показал, что для реализации быстрого действия обработки информации внутри датчика перспективно использование операционной системы реального времени FreeRTOS, для разработки программного обеспечения — SDK аппаратной архитектуры RP2040. В качестве среды разработки на языке программирования C актуально использовать ПО Visual Studio Code.

В дальнейшем планируется реализовать программную прошивку для IoT автоматического ротационного вискозиметра и произвести тестирование работы датчика вязкости по стабильности передачи данных и синхронизации времени. Планируется также произвести описание IoT вискозиметра в стандарте AML.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данного исследования было выявлено, что использование новой высокоэффективной интеллектуальной технологии интернета вещей в пищевой промышленности дает возможность: автоматизировать контроль вязкости пищевых масс в потоке в процессе производства, сохранять в памяти прибора полученные вискозиметром данные контроля вязкости, минимизировать время обработки данных и их передачи, выполнить интеграцию предлагаемого ротационного вискозиметра в современные IoT конвейерные производства на пищевых предприятиях.

Основные достижения включают разработку аппаратно-программной архитектуры IoT автоматических ротационных вискозиметров, которая позволяет осуществить сквозную передачу данных для реализации многоуровневой сетевой архитектуры. Это позволяет увеличить надежность существующих автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) пищевых предприятий за счет уменьшения человеческого фактора и автоматизированной передачи и обработки данных в существующую систему управления.

В работе впервые предложена IoT концепция разработки автоматических ротационных вискозиметров на базе технологий промышленного интернета вещей, разработаны схемы интеграции нескольких вискозиметров в современные промышленные системы пищевых предприятий, построенные на базе технологии промышленного интернета вещей. Для более глубокого понимания влияния интеллектуальной технологии интернета вещей на качество производства пищевых продуктов необходимы дальнейшие исследования.

## АВТОРСКИЙ ВКЛАД

**Сергей Андреевич Рылов:** концептуализация; руководство исследованием; создание статьи и ее редактирование.

**Игорь Владимирович Кротов:** проведение экспериментов и сбор данных доказательств.

**Маргарита Михайловна Благовещенская:** формулирование идеи; формулирование исследовательских целей и задач.

**Владислав Германович Благовещенский:** разработка методологии исследования; создание модели исследования.

**Иван Германович Благовещенский:** разработка программного обеспечения реализация компьютерного кода и вспомогательных алгоритмов; тестирование существующих компонентов кода.

**Александр Евгеньевич Яблоков:** применение статистических, математических или других формальных методов для анализа и синтеза исследовательских данных.

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

**Sergey A. Rylov:** conceptualization; supervision; project administration; writing-review and editing.

**Igor V. Krotov:** investigation; validation

**Margarita M. Blagoveshchenskaya:** conceptualization.

**Vladislav G. Blagoveshchensky:** methodology; conceptualization.

**Ivan G. Blagoveshchensky:** software; implementation of computer code and auxiliary algorithms; testing of existing code component.

**Alexander E. Yablokov:** formal analysis

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

- Азаров, Б.М., & Арет, В.А. (1978). Инженерная реология пищевых производств. М.: МТИПП.
- Azarov, B.M., & Aret, V.A. (1978). *Engineering rheology of food production*. Moscow: MTIPP. (In Russ.)
- Балыхин, М.Г., Благовещенский, И.Г., Назойкин, Е.А., & Благовещенский, В.Г. (2019). Адаптивная система управления с идентификатором нестационарными технологическими процессами в отраслях пищевой промышленности. *Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности: материалы научно-практической конференции с международным участием* (с. 32–39). М.: МГУПП.
- Balykhin, M.G., Blagoveshchensky, I.G., Nazoikin, E.A., & Blagoveshchensky, V.G. (2019). Adaptive control system with an identifier for non-stationary technological processes in the food industry. *Intelligent systems and technologies in the food industry: Materials of the scientific and practical conference with international participation* (с. 32–39). Moscow: MGUPP. (In Russ.)
- Балыхин, М.Г., Борзов, А.Б., & Благовещенский, И.Г. (2017а). Архитектура и основная концепция создания интеллектуальной экспертной системы контроля качества пищевой продукции. *Пищевая промышленность*, (11), 60–63.
- Balykhin, M.G., Borzov, A.B., & Blagoveshchensky, I.G. (2017a). Architecture and basic concept of creating an intelligent expert system for quality control of food products. *Food Industry*, (11), 60–63. (In Russ.)
- Балыхин, М.Г., Борзов, А.Б., & Благовещенский, И.Г. (2017б). *Методологические основы создания экспертных систем контроля и прогнозирования качества пищевой продукции с использованием интеллектуальных технологий*. М.: Изд-во Франтера.
- Balykhin, M.G., Borzov, A.B., & Blagoveshchensky, I.G. (2017b). *Methodological foundations for creating expert systems for monitoring and forecasting the quality of food products using intelligent technologies*. М.: Frantera Publishing House. (In Russ.)
- Благовещенский, В.Г. (2024). *Методологические основы автоматизации контроля органолептических показателей качества кондитерской продукции и создание на их базе интеллектуальных систем управления*. Курск. Blagoveshchensky, V.G. (2024). *Methodological foundations for automation of control of organoleptic quality indicators of confectionery products and creation of intelligent control systems on their basis*. Kursk. (In Russ.)
- Благовещенский, В.Г. (2020). Интеллектуальный анализ данных для систем поддержки принятия решений диагностики процессов производства пищевой продукции. В сборнике: *Сборник научных статей II международной научно-практической конференции «Цифровизация агропромышленного комплекса»* (Том I, с. 105–110). Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ».
- Blagoveshchensky, V.G. (2020). Intelligent data analysis for decision support systems for diagnostics of food production processes. In *Collection of scientific articles of the II international scientific and practical conference «Digitalization of the agro-industrial complex»* (Vol. I, pp. 105–110). Tambov: Publishing Center of FSBEI HE «TSTU». (In Russ.)
- Благовещенский, В.Г., & Благовещенский, И.Г. (2022). *Интеллектуальная автоматизированная система управления качеством халвы с использованием гибридных методов и технологий*. Курск.
- Blagoveshchensky, V.G., & Blagoveshchensky, I.G. (2022). *Intelligent automated quality control system for halva using hybrid methods and technologies*. Kursk. (In Russ.)
- Благовещенский, В.Г., Благовещенский, И.Г., Головин, В.В., & Аднодворцев, А.М. (2022). Интеллектуальная оптимизация производства на основе использования инновационных продуктов и технологий. В сборнике: *Информатизация и автоматизация в пищевой промышленности. Сборник научных докладов Всероссийской научно-технической конференции* (с. 140–144). Курск.
- Blagoveshchensky, V.G., Blagoveshchensky, I.G., Golovin, V.V., & Adnodvortsev, A.M. (2022). Intelligent optimization of production based on the use of innovative products and technologies. In *Informatization and automation in the food industry. Collection of scientific reports of the All-Russian scientific and technical conference* (pp. 140–144). Kursk. (In Russ.)
- Благовещенский, В.Г., Краснов, А.Е., Баженов, Е.И., Благовещенская, М.М., & Мокрушин, С.А. (2021). Применение нейросетевых технологий для управления качеством кондитерских изделий в процессе производства. *Системы управления и информационные технологии*, 3(85), 37–41.

- Blagoveshchensky, V.G., Krasnov, A.E., Bazhenov, E.I., Blagoveshchenskaya, M.M., & Mokrushin, S.A. (2021). Application of neural network technologies for quality management of confectionery products in the production process. *Control Systems and Information Technologies*, 3(85), 37–41. (In Russ.)
- Благовещенский, И.Г. (2018). Автоматизация контроля в режиме онлайн качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции пищевой промышленности с использованием системы компьютерного зрения. В сборнике: *Автоматизация и управление технологическими и бизнес-процессами в пищевой промышленности. Материалы научно-практической конференции с международным участием* (с. 14–17). Москва: Издательство Франтера.
- Blagoveshchensky, I.G. (2018). Automation of online quality control of raw materials, semi-finished products, and finished products of the food industry using a computer vision system. In *Automation and management of technological and business processes in the food industry. Proceedings of the scientific and practical conference with international participation* (pp. 14–17). Moscow: Frantera Publishing House. (In Russ.)
- Благовещенский, И.Г. (2018). *Методологические основы создания экспертных систем контроля и прогнозирования качества пищевой продукции с использованием интеллектуальных технологий* [Диссертация на соискание ученой степени д. техн. н.]. Москва: МГУПП.
- Blagoveshchensky, I.G. (2018). *Methodological foundations for the creation of expert systems for monitoring and forecasting the quality of food products using intelligent technologies* [Doctoral dissertation]. Moscow: MGUPP. (In Russ.)
- Благовещенский, И.Г. (2017). Разработка ситуационной модели технологических процессов производства помадных конфет. *Кондитерское производство*, (3), 45–49.
- Blagoveshchensky, I.G. (2017). Development of a situational model of technological processes for the production of fondant candies. *Confectionery Production*, (3), 45–49. (In Russ.)
- Благовещенский, И.Г. (2018). Теоретические основы использования системы технического зрения в системе автоматического управления технологическими процессами. В *Планировании и обеспечении подготовки и переподготовки кадров для отраслей пищевой промышленности и медицины* (с. 165–172). Москва: Издательство Франтера.
- Blagoveshchensky, I. G. (2018). Theoretical foundations of using a machine vision system in an automatic process control system. In *Planning and ensuring training and retraining of personnel for the food industry and medicine* (pp. 165–172). Moscow: Frantera Publishing House. (In Russ.)
- Благовещенский, И.Г., Благовещенский, В.Г., Мокрушин, С.А., Игольников, А.О., & Благовещенская, М.М. (2023). Применение WEB-технологий для создания автоматизированных систем мониторинга производства пищевых продуктов. *Роговские чтения: Материалы научно-практической конференции с международным участием* (с. 217–227). Курск: Университетская книга.
- Kuchumov, A.V., Blagoveshchensky, I.G., Blagoveshchensky, V.G., Blagoveshchenskaya, M.M., Rogovskie чтения: Материалы научно-практической конференции с международным участием (с. 217–227). Курск: Университетская книга.
- Blagoveshchensky, I.G., Blagoveshchensky, V.G., Mokrushin, S. A., Igoльников, A. O., & Blagoveshchenskaya, M.M. (2023). Application of WEB technologies for creating automated systems for monitoring food production. In *Rogovskie Cheniya: Proceedings of a scientific and practical conference with international participation* (pp. 217–227). Kursk: University Book. (In Russ.)
- Горбатов, А. В., Косой, В. Д., & Горбатов, А. В. (1981). Реологические методы и приборы для контроля процессов приготовления колбасных фаршей. *Труды XXVI Европейского конгресса научных работников мясной промышленности*, 1, 265–289.
- Gorbatov, A. V., Kosoy, V. D., & Gorbatov, A. V. (1981). Rheological methods and devices for monitoring the processes of preparation of sausage mince. *Proceedings of the XXVI European Congress of Meat Industry Scientists*, 1, 265–289. (In Russ.)
- Доня, Д. В. (2005). *Разработка и исследование реометров для контроля процесса производства сыров* [Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук]. Кемерово.
- Donya, D. V. (2005). *Development and study of rheometers for monitoring the cheese production process* [Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences]. Kemerovo. (In Russ.)
- Евсин, М. Г. (2023). *Методика оценки реологических и триботехнических свойств пластичных смазок* [Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук]. Санкт-Петербург.
- Evsin, M. G. (2023). *Methodology for assessing the rheological and tribotechnical properties of plastic lubricants* [Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences]. St. Petersburg. (In Russ.)
- Кротов, И. В., Благовещенский, В. Г., Благовещенская, М. М., & Мокрушин, С. А. (2023). Повышение эффективности процесса контроля вязкости пищевых масс с использованием программируемых технических средств. В *Интеллектуальные автоматизированные управляющие системы в биотехнологических процессах* (с. 190–196). Москва: Издательство Франтера.
- Krotov, I. V., Blagoveshchensky, V. G., Blagoveshchenskaya, M. M., & Mokrushin, S. A. (2023). Improving the efficiency of the process of controlling the viscosity of food masses using programmable technical means. In *Intelligent automated control systems in biotechnological processes* (pp. 190–196). Moscow: Frantera Publishing House. (In Russ.)
- Кучумов, А. В., Благовещенский, И. Г., Благовещенский, В. Г., Благовещенская, М. М., Зуева, Ю. В., & Рычков, Д. Ф. (2023). Использование в производственном контроле качества пищевой продукции компьютерного зрения. В *Роговские чтения: Материалы научно-практической конференции с международным участием* (с. 217–227). Курск: Университетская книга.
- Kuchumov, A.V., Blagoveshchensky, I.G., Blagoveshchensky, V.G., Blagoveshchenskaya, M.M., Zueva, Y. V., & Ryчков, D. F. (2023). Use of computer vision in production quality control of food products. In *Rogovskie Cheniya: Materials of a scientific and practical conference with international participation* (pp. 217–227). Kursk: University Book. (In Russ.)

- Zueva, Yu. V., & Rychkov, D. F. (2023). Using computer vision in industrial quality control of food products. In *Rogovskie cheniya: Proceedings of a scientific and practical conference with international participation* (pp. 217–227). Kursk: University Book. (In Russ.)
- Кучумов, А. В., Благовещенский, И. Г., Благовещенский, В. Г., Осташов, П. И., & Благовещенская, М. М. (2023). Цифровизация производства пищевых продуктов. *Роговские чтения* (с. 262–270). Курск: Университетская книга.
- Kuchumov, A.V., Blagoveshchensky, I.G., Blagoveshchensky, V.G., Ostashov, P.I., & Blagoveshchenskaya, M.M. (2023). Digitalization of food production. *Rogovskie cheniya* (pp. 262–270). Kursk: University Book. (In Russ.)
- Мачихин, Ю. А., & Мачихин, С. А. (1981). *Инженерная реология пищевых материалов*. Москва: Легкая и пищевая промышленность.
- Machikhin, Yu. A., & Machikhin, S. A. (1981). *Engineering rheology of food materials*. Moscow: Light and Food Industry. (In Russ.)
- Политов, Е. Н. (2003). Проблемы развития методов измерения реологических параметров однофазных сред. В *Проблемы истории науки и техники: Сборник научных статей* (с. 54–60). Курск: Государственный технический университет.
- Politov, E. N. (2003). Problems of development of methods for measuring rheological parameters of single-phase media. In *Problems of the history of science and technology: Collection of scientific articles* (pp. 54–60). Kursk: State Technical University. (In Russ.)
- Пирогов, А. Н. (2013). *Разработка научно обоснованных методов и устройств реометрического мониторинга процессов структурообразования в молочных продуктах* [Диссертации доктора технических наук]. Кемерово.
- Pirogov, A. N. (2013). *Development of scientifically based methods and devices for rheometric monitoring of structure formation processes in dairy products* [Dissertation of a Doctor of Technical Sciences]. Kemerovo. (In Russ.)
- Рылов, С. А. (2023). IoT аппаратная архитектура распределённых систем управления непрерывными промышленными производствами и агрокомплексами. *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*, 70(1), 105–113. <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2023-70-1-105-113>
- Rylov, S. A. (2023). IoT hardware architecture of distributed control systems for continuous industrial production and agricultural complexes. *Electrical Technologies and Electrical Equipment in the Agro-Industrial Complex*, 70(1), 105–113. (In Russ.) <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2023-70-1-105-113>
- Рылов, С. А., Богомольная, Г. В., Сухатерин, А. Б., & Петухов, А. М. (2022). Архитектура цифровых двойников промышленного интернета вещей. *Промышленные АСУ и контроллеры*, (6), 29–35. <https://doi.org/10.25791/asu.6.2022.1370>
- Rylov, S. A., Bogomolnaya, G. V., Sukhaterin, A. B., & Petukhov, A. M. (2022). Architecture of digital twins of the industrial Internet of Things. *Industrial ACS and Controllers*, (6), 29–35. (In Russ.) <https://doi.org/10.25791/asu.6.2022.1370>
- Alamri, M.S., Abdellatif, A.M., & Shahzad, H. (2012). Effect of okra gum on the pasting, thermal, and viscous properties of rice and sorghum starches. *Carbohydrate Polymers*, 89(1), 199–207. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.02.071>
- Averiyanihin, A.E., Andronov, D.O., Melikyan, S.A., & Skalchenkov, I.I. (2021). Experimental study of speed parameters and resource intensity of programming languages for embedded systems. *Lecture Notes in Networks and Systems*, 229, 17–33. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-77445-5\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-030-77445-5_3)
- Brock, J., Nogueira, M.R., Zakrzewski, C., Corazza, F. de C., Corazza, M.L., & de Oliveira, J.V. (2008). Determinação experimental da viscosidade e condutividade térmica de óleos vegetais [Experimental determination of the viscosity and thermal conductivity of vegetable oils]. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 28(3), 564–570. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000300010>
- Ding, K., & Fan, L. (2022). AML-based web-twin visualization integration framework for DT-enabled and IIoT-driven Manufacturing system under I4.0 workshop. *Journal of Manufacturing Systems*, 64, 479–496. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.07.014>
- Dhrisya, S., Mahadevan, V., Dinesh Karthick, V., Mohammed Ashik, S., & Dhanrajprabu, V. (2023). Title of the article. *International Journal of Innovative Research in Engineering*, 4(3), 402–405. <https://doi.org/10.59256/ijire.20230403109>
- Haidekker, M. A., Amy, G. T., Thomas, B., Hazel, Y. S., John, A. F., Emmanuel, T., & Marcos, I. (2002). A novel approach to blood plasma viscosity measurement using fluorescent molecular rotors. *AJP-Heart Circ Physiol*, 282(5), 1609–1614. <https://doi.org/10.1152/ajpheart.00712.2001>
- Kuo, F.-J., Sheng, C.-T., & Ting, C.-H. (2008). Evaluation of ultrasonic propagation to measure sugar content and viscosity of reconstituted orange juice. *Journal of Food Engineering*, 86(1), 84–90. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.09.016>
- Sahasrabudheb, S.N., Rodriguez-Martinez, V., O'Meara, M., & Brian, E.F. (2017). Density, viscosity, and surface tension of five vegetable oils at elevated temperatures: Measurement and modeling. *International Journal of Food Properties*, 20(2), 1965–1981. <https://doi.org/10.1080/10942912.2017.1360905>
- Jadaun, S., Singh, R.K., Kumar, R., & Agarwal, K.K. (2023). Analysis of cross platform application development over multiple devices using flutter & dart. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 12(1), 33–38.
- Thirawong, N., Kennedy, R.A., & Sriamornsak, P. (2008). Viscometric study of pectin-mucin interaction and its mucoadhesive bond strength. *Carbohydrate Polymers*, 71(2), 170–179. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2007.05.026>
- Xiaohong, S., & BeMiller, J.N. (2002). Effect of food gums on viscosities of starch suspensions during pasting. *Carbohydrate Polymers*, 50(1), 7–18. [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(01\)00369-1](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(01)00369-1)

# Разработка технологических решений для углубленной переработки мясокостных отходов на мясоперерабатывающих предприятиях

Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, г. Москва, Российская Федерация

О. В. Беспалова, А. Ю. Соколов, А. А. Гажур

## КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Ольга Владимировна Беспалова  
E-mail: [Bespalova.OV@rea.ru](mailto:Bespalova.OV@rea.ru)

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Беспалова, О.В., Соколов, А.Ю., & Гажур, А.А. (2024). Разработка технологических решений для углубленной переработки мясокостных отходов на мясоперерабатывающих предприятиях. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(4), 80-104. <https://doi.org/10.36107/spfr.2024.4.613>

ПОСТУПИЛА: 13.06.2024

ДОРАБОТАНА: 05.12.2024

ПРИНЯТА: 16.12.2024

ОПУБЛИКОВАНА: 27.12.2024

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ:

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского экономического университета имени Г.В. Плеханова



## АННОТАЦИЯ

**Введение:** Увеличение объемов производства мяса в агропромышленном комплексе образует накопление отходов. Одной из причин является отсутствие доступных технологий рециклинга. Предлагаются технологические решения переработки мясокостных отходов, позволяющие получить сухой пищевой ингредиент и натуральный сухой корм для непродуктивных животных на производствах любой мощности.

**Цель:** Разработка технологических решений для углубленной переработки мясокостных отходов на мясоперерабатывающих предприятиях, обеспечивающих дополнительное извлечение мышечной мякоти и производство натуральных сухих ингредиентов для пищевых продуктов и кормов для непродуктивных животных.

**Материалы и методы:** Статистическим методом и сравнительным анализом оценивались объемы производства мяса и образование отходов. Методом наблюдения оценивался ассортимент мясных полуфабрикатов, сенсорным анализом определялось их качество и качество сухих кормов. Экспериментальный метод использовался для разработки технологий переработки мясокостных отходов. Реология сухих кормов определялась на «Структурометре-СТ2», масс-спектрометрией на приборе LCMS-8060 определялся аминокислотный состав. Световой микроскопией определяли наличие клетчатки в кормовых системах. Обработка данных проведена с использованием программных средств Microsoft.

**Результаты:** Анализ литературных данных показал прямую связь увеличения производства мяса и экологической устойчивости предприятий. Обозначена недостаточность технологий переработки отходов и отмечен перспективный сегмент рынка для их применения — производство кормов для непродуктивных животных. Маркетинговыми исследованиями показаны некоторые отклонения качества мясокостных полуфабрикатов, которые могут увеличивать потребительские отходы. Экспериментально обоснован состав рецептур и требуемые параметры технологии производства кормов. Разработана технология углубленной переработки мясокостных отходов с получением сухих мясных гранул и сухого корма для непродуктивных животных. Подтверждено соответствие показателей сухого корма нормативным требованиям.

**Выводы:** Разработана универсальная технология, обеспечивающая получение дополнительной мышечной мякоти из мясокостных остатков, гарантирующая обеззараживание сырья, позволяющая расширить границы производства кормов для животных и усилить переработку отходов. Получены новые продукты — мясные гранулы и сухой корм для животных. Способ дает предприятиям перспективу организации замкнутого цикла производства, получить добавленную стоимость. Исследование имеет ограничения применения, ввиду использования лабораторных условий проведения эксперимента и ограниченной выборки материалов, что может различать результаты в ходе их получения на промышленном производстве.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

мясоперерабатывающее производство; мясокостные полуфабрикаты; переработка отходов; технологии сухого корма для непродуктивных животных

# The Development of Technological Solutions for In-Depth Processing of Meat and Bone Waste at Meat Processing Enterprises

Plekhanov Russian University  
of Economics, Moscow, Russian  
Federation

Olga V. Bespalova, Alexander Yu. Sokolov, Alexander A. Gazhur

## CORRESPONDENCE:

**Olga V. Bespalova,**

E-mail: Bespalova.OV@rea.ru

## FOR CITATIONS:

Bespalova, O.V., Sokolov, A.Yu., Gazhur, A.A. (2024). The development of technological solutions for in-depth processing of meat and bone waste at meat processing enterprises. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(4), 84-104. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.4.613>

**RECEIVED:** 13.06.2024

**REVISED:** 05.12.2024

**ACCEPTED:** 16.12.2024

**PUBLISHED:** 27.12.2024

## DECLARATION OF COMPETING

**INTEREST:** none declared.

## FUNDING:

The study was funded by Plekhanov Russian University of Economics



## ABSTRACT

**Introduction:** The increase in meat production in the agro-industrial complex generates waste accumulation. This is partly due to the absence of accessible recycling technologies. Proposed technological solutions for processing meat and bone waste can generate a dry food ingredient and natural dry feed for non-productive animals at production facilities of any size.

**Purpose:** To develop technological solutions for the in-depth processing of meat and bone waste at meat processing plants, ensuring additional extraction of muscle pulp and the production of natural dry ingredients for food products and feed for non-productive animals.

**Materials and Methods:** The statistical method and comparative analysis were used to estimate the volumes of meat production and waste generation. The observation method was used to estimate the range of meat semi-finished products, and sensory analysis was used to determine their quality and the quality of dry feed. The experimental method was used to develop technologies for processing meat and bone waste. The rheology of dry feed was determined on the «Structurometer-ST2», and the amino acid composition was determined by mass spectrometry on the LCMS-8060 device. The presence of fiber in feed systems was determined by light microscopy. Data processing was carried out using Microsoft software.

**Results:** The analysis of literary data showed a direct connection between the increase in meat production and the environmental sustainability of enterprises. It highlighted a lack of effective waste processing technologies and identified a potential market niche for their use—specifically in the manufacturing of feed for non-productive animals. Additionally, market research indicated certain discrepancies in the quality of meat and bone semi-finished products, which could lead to increased waste among consumers. The composition of the recipes and the required parameters of the feed production technology are experimentally substantiated. A technology for in-depth processing of meat and bone waste with the production of dry meat granules and dry feed for unproductive animals has been developed. The compliance of dry feed indicators with regulatory requirements has been confirmed.

**Conclusion:** A universal technology has been developed that ensures the production of additional muscle pulp from meat and bone remains, guaranteeing the disinfection of raw materials, allowing to expand the boundaries of animal feed production and enhance waste recycling. New products, such as meat granules and dry animal feed, have emerged. The method gives enterprises the prospect of organizing a closed production cycle and obtaining added value. The study has limitations in application, due to the use of laboratory conditions for conducting the experiment and a limited sample of materials, which may differ in the results when they are obtained in industrial production.

## KEYWORDS

meat processing industry; meat and bone semi-finished products; waste recycling; dry feed technologies for non-productive animals

## ВВЕДЕНИЕ

Современные промышленные технологии переработки животного сырья переживают значительные изменения, обусловленные внедрением кавитационных и биотехнологий, методов биомодификации, СВЧ-нагрева, высокого давления, ультразвуковой обработки, а также автоматизации и цифровизации производственных процессов. Эти новшества способствуют созданию новых видов продукции, расширению ассортимента, улучшению качества, снижению энергопотребления и повышению экономической эффективности (Углов, 2020; Никитина и соавт., 2020; Ganeson, 2023; Shurson, 2020; Suychinov et al., 2024). Однако проблема ресурсосбережения и снижения отходов остается актуальной для предприятий мясоперерабатывающей отрасли, несмотря на достигнутый технологический прогресс. По данным исследований, доля отходов может достигать 40–60% от общего объема сырья, что указывает на недостаточную эффективность существующих технологий переработки и ограниченность инновационных решений (Кузлякина & Юрчак, 2017; Порфирьев, 2020; Рамазанов и соавт., Chowdhury et al., 2022; Karwowska et al., 2021; Kim et al., 2020; Sharma et al., 2021; 2024; Mohan & Long, 2021).

Проблема снижения отходов и повышения эффективности технологических процессов в мясопереработке имеет глобальный характер, усугубляемый ростом населения и увеличением объема особо токсичных отходов. Эти вызовы делают необходимым переход отрасли к экологически безопасным производственным моделям, что соответствует целям международной программы устойчивого развития (Петрунина & Горбунова, 2024; Kilibarda et al., 2023; Ungureanu et al., 2023; Shurson, 2020). основополагающим принципом данной программы является переход от линейной модели «производство — утилизация» к циклической системе, включающей регенерацию отходов и их повторное использование («производство — использование — регенерация — повторное использование») (Балякина и соавт., 2021; Горбунова & Петрунина, 2023; Кузлякина & Замула, 2020; Рамазанов и соавт., 2024; Ferronato et al., 2021; Martin-Rios et al., 2022).

Существующие технологии переработки отходов в мясоперерабатывающей отрасли зачастую явля-

ются высокочувствительными и не обеспечивают замкнутого цикла производства. Например, переработка отходов обычно ограничивается выпуском монопродуктов, таких как биотопливо, белковые добавки, желатин, или специализированных материалов, что требует кооперации с другими отраслями и редко доступно для малых предприятий (Крылова и соавт., 2023; Alibekov et al., 2024; Асланова и соавт., 2024; Ganeson et al., 2023; Zhou et al., 2024). Такой подход, хотя и приносит добавленную стоимость, не всегда согласуется с принципами комплексной переработки и экологической устойчивости (Рамазанов и соавт., 2024; Nouri et al., 2021; Shurson, 2020).

Научная литература также указывает на взаимосвязь между отходами мясоперерабатывающих предприятий и потребительскими отходами. Несовершенство упаковки и технологий производства приводит к росту объема отходов на потребительском этапе (Ganeson et al., 2023; Bilska et al., 2020; Martin-Rios et al., 2022). Эти недостатки подчеркивают необходимость разработки более рациональных технологий, которые могли бы не только снизить объем отходов, но и обеспечить производство востребованных продуктов.

Наиболее перспективным направлением переработки отходов мясопереработки является производство натуральных кормов для непродуктивных животных. Такие продукты пользуются устойчивым спросом, особенно в сегменте органических кормов (Баюров, 2021; Donadelli et al., 2019; Shields et al., 2023). Разработка технологий, ориентированных на малые и средние предприятия, которые могли бы использовать все промежуточные продукты переработки, становится особенно актуальной.

Целью настоящего исследования является создание предложений по углубленной переработке отходов мясоперерабатывающей отрасли для снижения их объема и производства дополнительной продукции, включая натуральные корма для непродуктивных животных. Исследование базируется на сочетании теоретических и эмпирических методов.

## ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

### Актуальность использования отходов мясоперерабатывающих предприятий

Производство продукции животноводства составляет значительный вклад в глобальные выбросы парниковых газов, достигая 14,5% от общего объема, что существенно способствует климатическому кризису. При этом наиболее высокий вклад приходится на производство говядины (35,3%), молочного скота (30,1%) и свинины (8,7%) (Karwowska et al., 2021; Raihan, 2023). На мясоперерабатывающих предприятиях фактический выход мяса не превышает 40–50% от убойного веса, а оставшиеся 50–60% образуют отходы. По данным исследований, потери, связанные с неэффективным использованием отходов в мясной промышленности, могут достигать 30–40% (Кузлякина & Юрчак, 2017; Kim et al., 2020; Sharma et al., 2021; Chowdhury et al., 2022), а дополнительно 64% отходов формируются на этапе потребления (Karwowska, 2021).

Ежегодно в мире образуется около 18 млн тонн отходов мясной промышленности, из которых 10 млн тонн приходится на Европу (Кузлякина & Юрчак, 2017; Ungureanu et al., 2023). В России объем низкоценных побочных продуктов переработки сельскохозяйственного сырья, включая мясные отходы, достигает 50 млн тонн, большая часть которых не находит вторичного использования, что приводит к серьезным социально-экологическим и экономическим проблемам (Ибрагимов, 2019; Порфирьев, 2020; Тюрин и соавт., 2023).

Рост числа научных публикаций по вопросам утилизации и переработки отходов мясоперерабатывающих предприятий, а также проблемам ресурсосбережения свидетельствует о высокой актуальности данной темы (Monastirskii et al., 2022; Mohan & Long, 2021). Так, в области восстановления и повторного использования отходов опубликовано 177 исследований, в которых описано 25 технологий переработки. Эти исследования находятся в русле реализации программ устойчивого развития экономики, направленных на внедрение замкнутых производственных циклов (Monastirskii et al., 2022; Rosemarin et al., 2020; Suychinov et al., 2024).

Несмотря на успехи, достигнутые в разработке и применении технологий переработки отходов,

проблема остается во многом нерешенной. Основными препятствиями являются отсутствие в ряде стран эффективной системы управления отходами, доступных технологий переработки, устаревшее оборудование, кадровые проблемы, неэффективная управленческая политика и ограниченные возможности кредитования (Горбунова и соавт., 2023; Кузлякина & Замула, 2020; Mohan & Long, 2021). Данные обстоятельства подчеркивают, что проблема сокращения отходов и их переработки является одной из ключевых для экономики современных производств. В условиях недостаточного уровня экологической безопасности предприятий требуется разработка специализированных технологий, ориентированных на решение задач утилизации типичных видов отходов, характерных для большинства предприятий мясоперерабатывающей отрасли.

### Современная практика переработки и утилизации отходов в мясной отрасли

Современные подходы к переработке отходов мясоперерабатывающих предприятий ориентированы на улучшение экологических показателей путем интенсификации процессов конверсии. Эти подходы включают производство биотоплива, биоэнергии, удобрений, белковых препаратов, продукции для фармацевтической и медицинской сфер, а также кормов и их ингредиентов (Арсланова и соавт., 2019; Ferronato et al., 2021; Shurson, 2020; Monastirskii et al., 2022). Одним из примеров является использование химического растворения в серной (96%) и ортофосфорной (85%) кислотах для извлечения азота с последующим производством удобрений (Izydorczyk et al., 2022).

Перспективными направлениями переработки считаются использование отходов, таких как кровь, шкуры, кости, мясные обрезки, жировая ткань, рога, копыта и внутренние органы, в качестве источников белков, минералов, жиров и биоактивных пептидов (Alibekov et al., 2024). Например, кровь подвергается распылительной сушке для получения кровяной муки, которая применяется в кормах для птиц как источник аминокислот, а также в качестве натурального красителя и эмульгатора. Коровья кожа, благодаря физико-химической обработке, трансформируется в гидролизат желатина, богатого пептидами, который используется в кормлении цыплят-бройлеров (Nouri et al., 2020).

Биоактивные пептиды, выделяемые из мясных отходов, находят применение в профилактике метаболических заболеваний человека и используются в фармацевтической и медицинской отраслях. Например, из костных остатков получают остеопластический материал для восстановления опорно-двигательного аппарата, стоматологические гели и керамику (Seredin et al., 2022; Kowalski et al., 2021). Технологии лиофильной сушки позволяют сохранить активные пептиды и жирные кислоты омега-3 и омега-6 на уровне свежего сырья (Juknienė et al., 2022).

Однако высокая стоимость внедрения этих технологий ограничивает их доступность для большинства мясоперерабатывающих предприятий, особенно малого и среднего бизнеса. Примером доступного подхода является использование ферментации коллагенсодержащего сырья с применением культур *Lactobacillus bulgaricus*, *Bifidobacterium siccum* и *Staphylococcus carnosus* для производства колбасных изделий, что способствует переработке вторичного сырья (Gizatova et al., 2021). Тем не менее, работа с микробиологическими культурами требует биотехнологической специализации, что усложняет внедрение подобных решений в традиционные мясоперерабатывающие производства.

В Российской Федерации переработка отходов ограничивается производством клея, желатина, костей для поделок, кожевенного сырья, мясокостной муки, костного жира, биотоплива и ветеринарных препаратов (Крылова и соавт., 2023; Конурбаева и соавт., 2019; Балякина и соавт., 2021; Соколов, 2023). Однако существующих мощностей недостаточно для утилизации растущего объема отходов. Например, переработка мясных отходов во влажные корма для собак, включающая использование сердца, почек, легких и других субпродуктов, ограничивается качеством сырья и универсальностью обработки, не учитывающей специфику каждого компонента (Казаков, 2012).

Обзор литературы выявил, что реализованные проекты переработки отходов часто базируются на междисциплинарных подходах, требующих знаний вне сферы пищевых технологий. Это затрудняет их принятие управленческим звеном мясоперерабатывающих предприятий и снижает их привлекательность. В связи с этим возникла необходимость разработки решений, соответствующих специали-

зации пищевых производств, с использованием существующих технических возможностей. Наиболее перспективным направлением представляется переработка отходов для производства кормов для непродуктивных животных, таких как собаки и кошки. В условиях растущего спроса на кормовую продукцию и тенденции к импортозамещению, доля отечественного производства кормов для домашних животных в России в 2023 году составила 69%. Однако значительная часть рынка остается незаполненной, что делает это направление особенно актуальным.

### Обзор технологий производства кормов для непродуктивных животных

Практика производства кормов для непродуктивных животных показывает, что многие существующие технологии используют сырье с низкими показателями пищевой ценности. В состав кормов часто входят субпродукты, непригодные мясные отходы, растительные компоненты и клетчатка, что приводит к формированию низкопротеинового рациона. Кроме того, добавление химических компонентов, таких как красители, ароматизаторы, консерванты и эмульгаторы, нежелательно для кормления животных (Баюров, 2021; Shurson, 2020).

Ингредиентный состав кормов, представленных на российском рынке, также не всегда обеспечивает необходимую пищевую ценность. Исследования состава 28 различных кормов показали, что основными ингредиентами часто являются переработанные отходы, такие как гидролизованная печень, мясная и кровяная мука, растительные добавки, включая пшеницу и соевый шрот (Баюров, 2020). Однако использование переработанных костей снижает массовую долю белка, что негативно сказывается на питательности кормов. Это выявило необходимость разработки рецептуры, включающей мышечное мясо, с исключением костного сырья, а также технологий для дополнительного извлечения мясной мякоти из мясокостных отходов.

Обзор литературы показал, что тепловая обработка является ключевым этапом переработки мясных отходов, обеспечивающим обеззараживание сырья и облегчение отделения мяса от костей (Shurson, 2020; Gómez et al., 2020). В США такие процессы включают сухую тепловую обработку при темпе-

ратуре 120–135 °С в течение 45–90 минут под давлением 2,8–4,2 бар. Влажная обработка проводится при температуре 140 °С под высоким давлением. В Европейском Союзе регламенты предусматривают обработку при температуре 133 °С в течение 20 минут под давлением 300 кПа (Shurson, 2020). Однако при различных режимах тепловой обработки наблюдается компромисс между повышением пищевой ценности и потерей органолептических качеств (Gómez et al., 2020).

Дополнительное извлечение мышечной мякоти из мясокостных отходов путем автоклавирования при температуре 140 °С и давлении 0,62 МПа используется в технологии производства сублимированного протеинового гидролизата. Этот подход включает разделение протеиновых фракций методом лиофильной сушки, что увеличивает сложность процесса и ограничивает возможность его внедрения на большинстве предприятий (Мезенова и соавт., 2020).

Другой подход предполагает производство гранулированных кормов, включающий измельчение мясокостной массы, смешивание с растительными компонентами, экструдирование, сушку и обогащение дополнительными ингредиентами. Однако многофазность процесса и использование костного компонента снижают пищевую ценность основного белкового сырья (Углов и соавт., 2020).

На основании анализа научных источников разработано проектное решение, включающее оптимальные режимы тепловой обработки мясокостных отходов для обеззараживания, размягчения мышечной массы и получения нового продукта. Обобщенные данные подчеркивают необходимость создания эффективных технологий переработки отходов, ориентированных на пищевой профиль и учитывающих возможности существующих производственных мощностей, включая малые и средние фермерские хозяйства.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Объект и предмет исследования

Объектом исследования явилась производственная деятельность предприятий мясоперерабатывающей промышленности в области переработки отходов.

Предмет — реализуемые на предприятиях технологии переработки отходов и получаемые продукты.

### Материалы

В качестве образцов исследования использовались продукты технологий переработки мясного сырья — мясокостные части туш после обвалки, мясокостные отходы от предприятий и фермерских хозяйств.

Образцы мелкокусковых мясокостных полуфабрикатов от предприятий мясоперерабатывающей промышленности и фермерских хозяйств приобретены в розничной торговой сети г. Москвы и г. Сочи (гипермаркеты «Ашан», «Перекресток», «Глобус», супермаркеты «Пятерочка», «Мираторг», частные магазины предпринимателей, реализующих фермерские мясопродукты).

Рисовая мука, кукурузная мука, амарантовая мука для контрольных проработок по созданию экспериментальных продуктов приобретены в розничной торговой сети.

Исследования проводились в лабораториях кафедры пищевых технологий и биоинженерии Российского экономического университета им. Г.В. Плеханова в г. Москве.

### Методы и инструменты

Методом наблюдений определялись актуальные аспекты в сфере прикладных наук — сельское хозяйство, технологии продукции животноводства.

Методом аспектного анализа изучен научный контент предметной области глубиной периода 2012–2024гг, размещенный на платформе Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), использующего академические базы данных Scopus, Web of Science, PubMed Central, а также научные статьи, доступные к обзору в поисковых системах Google Scholar, EBSCO, на платформах Elsevier, eLibrary.Ru, cyberleninka.ru, ORCID, порталах ResearchGate, AGRIS.

Статистическим методом по данным литературы определялись тенденции производства мяса. Для

интерпретации статистической информации использовался графический метод с использованием возможностей программного компьютерного обеспечения (ПО) Microsoft.

Оценка ассортимента мясных и мясокостных полуфабрикатов в торговой розничной сети в ходе маркетинговых исследований проводилась экспертами методом открытого прямого структуризованного наблюдения с заполнением регистрационных листов, отражающих наличие продукции в соответствии с номенклатурой полуфабрикатов, получаемых в ходе разделки мясных туш, согласно ГОСТ 32951–2014 и Сборника рецептур блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания. Сборник технологических нормативов<sup>1</sup>.

Сенсорный анализ мелкокусковых мясокостных полуфабрикатов проводила экспертная комиссия в составе 7 человек по органолептическим показателям внешнего вида, цвета и запаха по ГОСТ 32951–2014. Соотношение содержания мышечного мяса и костей в полуфабрикатах проводили в технологической лаборатории экспериментальным методом в соответствии с ГОСТ 32951–2014 и методом расчёта отходов и потерь при кулинарной (механической и тепловой) обработке продовольственного сырья и пищевых продуктов по ГОСТ 31988–2012.

Технологические решения и параметры дополнительной переработки мясокостных отходов, в результате которых получены мясные гранулы определялись экспериментальным методом путем контрольных технологических проработок в лаборатории с использованием технологического оборудования и инвентаря.

Рецептура натурального сухого корма для непродуктивных животных с использованием мясных гранул и бульона, полученного в ходе тепловой обработки сформирована экспериментальным и расчетным методами путем технологических контрольных проработок с определением норм отходов и потерь на каждом этапе по ГОСТ 31988–2012.

Сенсорный анализ качества сухого корма по органолептическим показателям — внешний вид, цвет,

запах проводили по ГОСТ Р 55453–2022, ГОСТ 13496.13–2018, отбор проб проводили по ГОСТ Р 59369–2021, определение влаги — методом высушивания по ГОСТ Р 54951–2012.

Анализ аминокислотного состава образцов разработанного сухого корма оценивали методом масс-спектрометрии на хромато-масс-спектрометре жидкостном LCMS-8060 фирмы Shimadzu corporation (2019). Разделение аналитов проводили на колонке Shim-pack GIST C18-AQ 4,6×250 mm 5 µm. Предварительно проводили кислотный гидролиз проб. Для гидролиза проб в запаянных пробирках использована следующая процедура: в стеклянную пробирку помещали 20 мг образца, добавляли 2 см<sup>3</sup> соляной кислоты с концентрацией 6 М, продували пробу азотом 3–4 раза с последующим плотным закрытием. Далее нагревали пробу в лабораторном термореакторе «Термион» в течении 4 часов при температуре 145 °С. После остывания пробу количественно переносили в мерную колбу на 100 см<sup>3</sup>, нейтрализовали раствором гидроксида натрия 7,5М и доводили объём до метки водой для лабораторного анализа. Полученный раствор анализировали на приборе. Данные обрабатывали с использованием программного обеспечения к прибору.

Реологическую характеристику текстуры полученного корма для объективной оценки прочностных характеристик (способности к разжевыванию сухого продукта) проводили методом измерения деформации на анализаторе текстуры — «Структурометр-СТ2» (2021) предназначенного для исследований реологических и прочностных свойств сырья, полуфабрикатов и готовой продукции по методике ООО «Лаборатория качества». Числовые значения деформации были получены с помощью программных средств приборов-анализаторов, интерпретированы с помощью табличного процессора с построением графиков и линий тренда. Визуализация результатов проведена графическим методом с использованием возможностей программного компьютерного обеспечения (ПО) Microsoft.

Элемент текстуры — волокна клетчатки определялась методом световой микроскопии на бинокулярном микроскопе «Микровид» при увеличении 100х и окрашивания сафранином.

<sup>1</sup> Лупея, Н.А.(ред.).(2013). *Сборник рецептур блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания. Сборник технологических нормативов.* Москва: Хлебпродинформ.

Сенсорное восприятие разработанного сухого корма непродуктивными животными (домашние собаки, кошки) проводилось методом оценки сенсорного восприятия по результатам кормления с участием владельцев-добровольцев с фото- и видеофиксацией.

Обработка материалов статьи проводилась с использованием возможностей программного компьютерного обеспечения (ПО) Microsoft.

## Процедура исследования

Исследование состояло из нескольких этапов, каждый из которых направлен на достижение цели разработки технологий переработки отходов мясоперерабатывающих производств и создания нового продукта.

### *Анализ литературных данных*

На первом этапе статистическим методом определялись тенденции в производстве мяса, с акцентом на взаимосвязь между объемами производства и образованием отходов. Системный анализ выявил разрыв между увеличением производства мяса и экологической устойчивостью, что обусловлено недостаточностью технологий переработки отходов. Этот анализ позволил определить цель исследования — разработку технологий для переработки отходов с выпуском новой продукции.

### *Обзор существующих технологий*

На втором этапе проведен систематический анализ технологий переработки отходов мясоперерабатывающих производств, включающий оценку их видового разнообразия, процессов и продуктов. Эвристическим методом определен перспективный сегмент переработки — производство кормов для непродуктивных животных.

### *Анализ технологий производства кормов*

На третьем этапе оценивались компоненты рецептур, параметры технологической обработки и возможности существующих производств для производства кормов из отходов. Методом индукции были теоретически обоснованы решения, позволяющие реализовать переработку в условиях мя-

соперерабатывающих предприятий без создания дополнительных производственных мощностей.

### *Маркетинговые исследования*

На четвертом этапе методом наблюдения изучался ассортимент мясных и мясокостных полуфабрикатов в розничной торговле. Анализ включал оценку полноты использования сырья и качества продукции, отклонения в котором формируют накопление потребительских отходов.

### *Экспериментальная разработка технологии*

На пятом этапе экспериментально отработывался способ переработки мясокостных отходов с извлечением мышечной мякоти. Разработанная технология предусматривала получение мясных гранул, бульона и очищенных костей, которые стали основой для производства корма для непродуктивных животных.

### *Моделирование и конструирование кормовой системы*

На шестом этапе теоретическое моделирование и экспериментальное конструирование позволили создать поликомпонентную систему для сухого корма. Научно обоснована рецептурная композиция и разработана технология производства корма.

### *Оценка качества конечного продукта*

Заключительный этап включал сенсорный анализ по показателям внешнего вида, цвета и запаха, а также определение содержания влаги, текстурных свойств и аминокислотного состава корма. Сенсорное восприятие корма оценивалось в процессе кормления животных, что позволило подтвердить соответствие продукта стандартам данной категории.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### **Теоретическое обоснование актуальности исследования**

Обзор научной литературы выявил масштабность и актуальность проблемы переработки отходов в мясной отрасли, что обусловлено ростом объемов производства мяса и недостаточной эффек-

тивностью существующих технологий утилизации. Основной задачей является разработка технологий переработки, применимых к предприятиям различной мощности, включая малые и средние хозяйства, с учетом их технических возможностей и экономических ограничений. Научные публикации за период 2017–2024 гг. демонстрируют значительный интерес исследователей к этой теме, что подтверждается увеличением числа исследований, посвященных утилизации отходов, рециклингу и регенерации (Кузлякина & Юрчак, 2017; Monastirskii et al., 2022; Mohan & Long, 2021; Ungureanu et al., 2023).

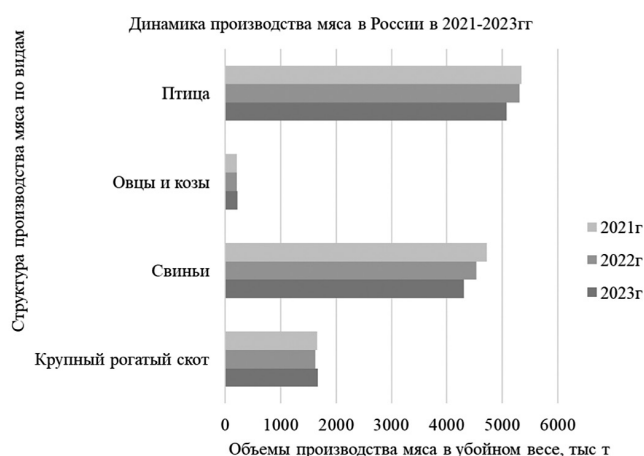
Анализ данных литературы показал, что около 50% сырья, используемого на мясоперерабатывающих предприятиях, преобразуется в отходы, которые зачастую остаются неиспользованными. В то же время динамика роста производства мяса, представленная на основании статистических данных (Рисунок 1), свидетельствует о необходимости внедрения технологических решений для переработки этих отходов. Установлено, что в России основная доля производства приходится на сельскохозяйственные предприятия (75,9–80,5%), тогда как доля малых хозяйств и фермеров составляет 15,7–20,5%. Эти данные подчеркивают важность адаптации технологий переработки для широкого круга производителей.

**Рисунок 1**

Динамика производства мяса в убойном весе в Российской Федерации за 2021–2023 гг

**Figure 1**

Dynamics of Meat Production in Carcass Weight in the Russian Federation for 2021–2023



Технологии переработки отходов, описанные в литературе, варьируются от химических и биотехнологических до комплексных методов, таких как производство биотоплива, кормовых добавок и медицинских материалов. Однако многие из них требуют интеграции с другими отраслями, что делает их неприменимыми для малых предприятий (Арсланова и соавт, 2019; Cruz-Casas et al., 2021; Ferronato et al., 2021; Shurson, 2020). Обзор также выявил необходимость концентрации на технологиях, которые соответствуют специализации основного производства, минимизируют отходы и обеспечивают выпуск продукции с высокой рыночной востребованностью, такой как корма для непродуктивных животных (Бажуров, 2021; Shields et al., 2023).

Особое внимание уделено термическим методам обработки отходов. Литературные данные показывают, что обычное тепловое воздействие, например варка, эффективно обеззараживает сырье, но не гарантирует уничтожения прионов. Это ограничивает использование некоторых видов отходов, таких как свинина, в кормах для собак. Установлено, что использование стерилизации под давлением позволяет не только уничтожить микробную контаминацию, но и отделить дополнительную мякоть от костей, повышая эффективность переработки (Чернявская & Гордынец, 2017; Мезенова и соавт., 2020; Gómez et al., 2020).

Таким образом, анализ исследований подтвердил необходимость разработки новых технологий переработки отходов, ориентированных на производство кормов для непродуктивных животных. Эти технологии должны учитывать современные технические и экономические реалии, быть экологически устойчивыми и интегрироваться в существующую инфраструктуру мясоперерабатывающих предприятий.

## Маркетинговые исследования

Ассортимент мясных и мясокостных полуфабрикатов в торговой розничной сети в ходе маркетинговых исследований наблюдался в категориях свинины и говядины. Оценка данных регистрационных листов показала, что потребителям представлен весь спектр полуфабрикатов, использующихся для приготовления кулинарных изделий — мясные крупнокусковые, порционные, мелкокусковые, мя-

сокостные, в тестовой оболочке, в растительном листе, из рубленой и котлетной массы.

Оценка органолептических показателей в ходе сенсорного анализа, определили соответствие требованиям показателей качества всего спектра полуфабрикатов, кроме мясокостных мелкокусковых полуфабрикатов — рагу и супового набора, внешний вид которых был идентичен мясокостным отходам.

Результат органолептической оценки приобретенных в торговой розничной сети — «Рагу» для тушения из свинины, «Рагу из свинины», «Суповой набор говяжий» рассмотрены ниже.

На Рисунке 2 (А, Б, В, Г) представлены образцы внешнего вида полуфабрикатов рагу и «Суповой набор говяжий» от трех отечественных производителей, указанных в маркировке — ООО «КМПЗ», ЗАО «СК Короча» АПХ Мираторг», ООО «Филъе Проперти».

Органолептическая оценка представленных полуфабрикатов по показателям запаха и цвета соответствовала требованиям<sup>2</sup>. Однако, по показателю «внешний вид» в образцах рагу (Рисунок 2 А, Б) форма кусочков имеет значительные отклонения размеров — от 25 мм до 70мм и разнообразие формы. Масса в одной потребительской упаковке колеблется от 7 г до 50г. Поскольку полуфабрикаты предназначены для производства кулинарной продукции, для оценки внешнего вида учтено описание рагу из традиционных технологий<sup>3</sup>: полуфабрикат рагу изготавливается из мяса свинины представляет собой мясокостные кусочки из грудинки массой 30–40 г каждый с содержанием жира не более 15% и костей — не более 10%.

При экспертном оценивании комиссия пришла к выводу, что в образцах 1 и 2 «Рагу» для тушения (Рисунок 2, А) распил костей на кусочках имеет недопустимо острые окончания, что может привести к травматизации в процессе приготовления блюд

<sup>2</sup> ГОСТ 32951–2014 Полуфабрикаты мясные и мясосодержащие. Общие технические условия. Получено из <https://internet-law.ru/gosts/gost/58148/?ysclid=m3bt1qcr5y74826040>

<sup>3</sup> Лупея, Н.А.(Ред.).(2013). *Сборник рецептов блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания. Сборник технологических нормативов.* Москва: Хлебпродинформ.

**Рисунок 2**

Внешний вид образцов мелкокусковых мясокостных полуфабрикатов в розничной торговой сети г. Москвы

**Figure 2**

Appearance of Small-Sized Meat and Bone Semi-Finished Products in Retail Stores in Moscow

*Полуфабрикат «Рагу» для тушения*

*“Ragout” Semi-Finished Product for Stewing*



А

Образец 1

Б

Образец 2

*Полуфабрикат «Рагу из свинины»  
«Pork Ragout» Semi-Finished Product*



В

Образец 3

*Полуфабрикат «Суповой набор говяжий»  
«Beef Soup Set» Semi-Finished Product*



Г

Образец 4

**Рисунок 3**

Внешний вид костей после отделения мякоти полуфабриката «Рагу» для тушения

**Figure 3**

Appearance of Bones After Meat Separation from the “Ragout” Semi-Finished Product for Stewing



и при употреблении в пищу. Для демонстрации качества распила костей в полуфабрикате «Рагу» для тушения была отделена мякоть после тепловой обработки и отмечено, что рельеф костей используемого полуфабриката имеет травмоопасные торчащие окончания (Рисунок 3).

Кроме того, органолептическая оценка внешнего вида показала, что на поверхности кусочков полуфабриката «Рагу» для тушения — излишнее количество костной крошки, которая заглубляется в мякоть и частично задерживается после промывания.

**Рисунок 4**

Внешний вид полуфабриката «Рагу» для тушения со следами костной крошки

**Figure 4**

Appearance of the “Ragout” Semi-Finished Product for Stewing with Traces of Bone Fragments



Органолептическая оценка другого мясокостного полуфабриката — «Супового набора говяжьего» показала, что в потребительской упаковке кроме мясокостных кусочков, есть отдельные остатки жира, коллагеновые остатки, на поверхности мякоти — трудно смываемая костная крошка, есть кусочки с наличием соединительной ткани без мышечной мякоти (Рисунок 2Г).

В ходе маркетинговых исследований была оценена корректность отнесения вышеуказанных полуфабрикатов к заявленным в маркировке категориям. Экспериментальным методом проводилось из-

**Таблица 1**

Результаты определения соответствия массовой доли мышечной ткани в мясокостных полуфабрикатах заявленной в маркировке категории

**Table 1**

Results of Determining the Compliance of the Muscle Tissue Mass Fraction in Meat-Bone Semi-Finished Products with the Category Stated on the Label

Наименование полуфабриката, производитель и документация (на маркировке)	Масса брутто полуфабриката, г	Масса мышечной мякоти, г	Массовая доля мышечной мякоти в полуфабрикате, %	Норма массовой доли мышечной мякоти для категории полуфабриката по ГОСТ 32951–2014, %
Рагу для тушения, категория В (ООО «КМПЗ», СТО 23014536–03-2016)	4635,0	1865,0	40,2	40–60
Рагу из свинины, категория В (ЗАО «СК Короча» АПХ Мираторг, СТО 93150011.004–2012)	2040,0	920,0	54,9	40–60
Суповой набор говяжий, категория Д (ООО «Филье Проперти», СТО 45934527–001-2016)	2720,0	885,0	32,5	20 % и менее

мерение соотношения мяса и костей. Результаты представлены в Таблице 1. Исследования проводились с целью формирования выводов о целесообразности выработки ассортимента с несоответствующими характеристиками.

### Технологические решения переработки мясокостных отходов

Обзор научных источников сформировал принятие решения о применении технологии переработки мясокостных отходов методом тепловой обработки в автоклаве для обеззараживания массы и ее лучшего отделения от костей. Экспериментальным методом были отработаны режимы и этапы технологической обработки мясокостных отходов: мойка частей мясокостного остова после обвалки, варка в течение 40 минут в автоклаве при температуре 140°C, охлаждение всей мясокостной массы в бульоне до 25°C, извлечение термообработанных мясокостных продуктов, отделение мякоти от костей и измельчения массы на мясорубке. Бульон, в зависимости от количества жира на поверхности предусмотрен к охлаждению до 0°C, процеживанию и сбору жира для дальнейшего использования.

Вареная мясная фаршеобразная масса распределялась тонким слоем на перфорированной поверхности дегидрататора подвергается сушке при температуре 30–35°C в течение 5 часов до состояния сыпучести и просеивалась через перфорации листа дегидрататора, в результате чего высушенная масса приобретает вид мясных гранул.

### Состав и технология производства кормовых пищевых систем

Рецептура новой продукции — кормов для непродуктивных животных — была разработана с учетом комплексного использования всех продуктов переработки, включая промежуточные компоненты, такие как мясные гранулы и мясокостный бульон. Термически обработанные кости, благодаря их высокой сохранности, были предложены для дальнейшей переработки в костную муку, пригодную для использования в составе кормов. Разработанные технологические решения соответствуют специализации и техническим возможностям предприятий мясопереработки.

Состав рецептуры был основан на научно обоснованных рекомендациях Баурова (2021) и Silvério Lopes da Costa с соавторами (2018), с учетом предпочтений потребителей и потребностей животных. В последние годы использование костного компонента в кормах становится менее популярным, поэтому акцент был сделан на компонентах животного происхождения с высоким содержанием белка. Основной питательной основой корма стали белки, с добавлением небольшого количества клетчатки для поддержания функций желудочно-кишечного тракта. Дополнительные ингредиенты включают витамины, минеральные вещества и жиры для обеспечения сбалансированного питания.

Для рецептуры были выбраны следующие компоненты: животный белок (мясные гранулы и мясокостный бульон) и растительный компонент (смесь рисовой, амарантовой и кукурузной муки в заданном соотношении).

Были разработаны и экспериментально апробированы два варианта пищевых систем:

- (1) Первая смесь: мясные гранулы, зерновая композиция и мясокостный бульон. Компоненты смешивались до получения однородной массы вязкой консистенции с содержанием влаги 58%.
- (2) Вторая смесь: зерновая композиция и мясокостный бульон без добавления мясных гранул. Содержание влаги составило 53%.

Каждый из вариантов рецептуры был адаптирован для применения в технологических процессах существующих мясоперерабатывающих предприятий, что обеспечивает их реалистичность и экономическую эффективность.

Разработаны и апробированы этапы технологических процессов производства корма, включающие соединение компонентов рецептурной композиции в миксере путем простого перемешивания в течение 5 минут, отсаживание массы пищевой основы в виде шариков или таблеток размером 10–12 мм на рабочую поверхность дегидрататора, высушивание при температуре 30–35°C в течение 5 часов. В результате были получен сухой корм для непродуктивных животных новой линейки «Органик». Внешний вид продукции представлен на Рисунках 5, 6, 7. Аппаратурно-технологические схема производства гранул — на Рисунке 8.

**Рисунок 5**

Внешний вид ингредиента для сухого корма «Органик» – мясных гранул

**Figure 5**

Appearance of the Ingredient for Dry Pet Food “Organic” – Meat Granules



**Рисунок 6**

Внешний вид сухого корма «Органик» на мясном бульоне

**Figure 6**

Appearance of the Dry Pet Food “Organic” Cooked on Meat Broth



**Рисунок 7**

Внешний вид сухого корма «Органик» на мясном бульоне с добавлением мясных гранул

**Figure 7**

Appearance of the Dry Pet Food “Organic” on Meat Broth with Added Meat Granules



**Рисунок 8**

Схема аппаратно-технологического решения для переработки мясокостных остатков туш для производства мясных гранул

**Figure 8**

Diagram of the Equipment and Technological Solution for Processing Meat-Bone Carcass Residues for the Production of Meat Granules

Мойка мясокостных отходов	Автоклавирование	Охлаждение	Отделение вареной мышечной мякоти от костей	Измельчение вареной мышечной мякоти в фаршевую массу	Высушивание мясной мышечной мякоти в фаршевую массу	Упаковка мясных сушёных гранул
Моечные ванны	Автоклав 40 мин, температура 140°C	Аппарат шоковой заморозки до -25°C	Производственный стол	Мясорубка, диаметр решетки 5мм	Дегидратор, температура 30°C - 35°C, время - 5 час	Вакууматор



Процеживание	Просеивание зернового компонента	Дозирование компонентов	Перемешивание компонентов	Формование массы	Сушка
Сито для бульона, диаметр ячейки 3мм	Просеиватель или сито диаметр ячейки 2 мм	Весовое и мерное оборудование	Универсальный привод	Отсадочная машина, размер форсунок 10-12мм	Дегидратор, температура 30°C - 35°C, время - 5 час



## Исследование качества разработанных сухих кормов для непродуктивных животных

Продукты «Органик» с гранулами и без них, а также мясные гранулы, как ингредиент сухого корма, сравнительным методом определялись на соответствие нормам стандарта ГОСТ Р 55453–2022 по содержанию влаги с целью определения их в категорию сухих кормов. Данные представлены в Таблице 2.

Результаты оценки органолептических показателей кормов:

- (1) внешний вид — высушенные твердые кусочки размером 10–12мм;
- (2) цвет — оттенки светло-коричневого;
- (3) запах — слабо выражен, отсутствуют оттенки недоброкачества.

**Таблица 2**

Результаты определения содержания влаги моделируемых кормовых компонентов и комбинированных систем

**Table 2**

Results of Moisture Content Determination in Modeled Feed Components and Combined Systems

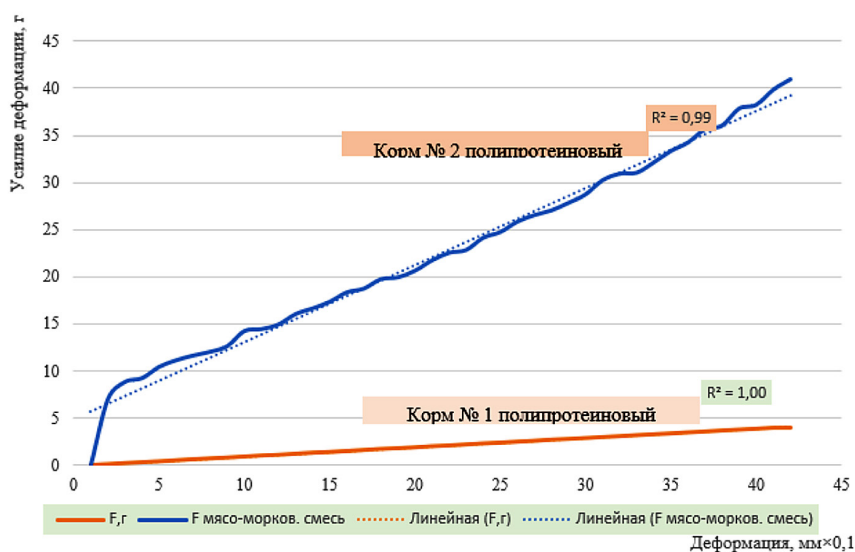
№ пробы и название продукта	Показатели:		
	Масса навески, г	Разность масс навески до и после сушки, г	Содержание влаги, %
1. Сухой корм «Органик» на мясном бульоне	6,77	0,369	5,45
2. Сухой корм «Органик» на мясном бульоне с добавлением мясных гранул	5,33	0,329	6,17
3. Кормовая добавка «Мясные гранулы»	4,034	0,266	6,59
4. Пищевая система для производства корма «Органик» на мясном бульоне.	5,667	2,998	52,90
5. Пищевая система для производства корма «Органик» на мясном бульоне с добавлением мясных гранул	4,216	2,452	58,16

**Рисунок 9**

Реограммы деформации сухого корма «Органик» при нагружении

**Figure 9**

Deformation Rheograms of “Organic” Dry Feed Under Load



Отклик домашних животных на кормление разработанными кормами согласия владельцев показал следующее: кошки, приученные к определенному виду корма, не проявили интерес. Кошки, которые питались как сухим кормом, так и обычными пищевыми продуктами съели корм обоих видов полностью. Собаки породы Такса, получавшие сухой и влажный корма, не отреагировали на корм «Органик» на мясном бульоне и проявили очень большой интерес к корму «Органик» с мясными гранулами. Собаки больших пород – Сенбернар и Среднеазиатская овчарка (алабай) проявляли большой интерес к обоим образцам корма. Восприятие животными – сенсорное положительное, проявлен интерес к кормлению.

Реологические характеристики текстуры кормов, определяемых с помощью анализатора текстуры – «Структурометр-СТ2», представлены на Рисунке 9, где линия «Корм №1 полипротеиновый» соответствует образцу на мясном бульоне, а №2 – образцу на бульоне с мясными гранулами.

Реограмма свидетельствует, что образцы проявляют относительно стабильное поведение при механическом нагружении и разрушаются при определенном усилии, что характеризует наличие твердообразной текстуры. Однако, по числовым показателям усилий деформации можно отметить, что корм не обладает очень высокой

твердостью. Более хрупкой структурой обладает корм без мясных гранул.

Поскольку в разработанных кормах есть составляющая растительного (зернового) происхождения, проведена микроскопия слоя, результат которой представлен на Рисунке 10. Исследование проводилось с целью определения наличия клетчатки, необходимой в небольших количествах животным. Окрашивание пробы сафранином, показало наличие вишнево-красных включений, что оз-

**Таблица 3**

Результаты определения аминокислотного состава сухого корма «Органик» на мясном бульоне

**Table 3**

Results of Amino Acid Composition Analysis of “Organic” Dry Feed Cooked on Meat Broth

Корм «Органик» на мясном бульоне			
№	Наименование аминокислот	Количественный результат, г/100	Метод исследований
1	Аланин	0,014 ± 0,004	ВЭЖХ МС-МС
2	Аргинин,	1,04 ± 0,31	ВЭЖХ МС-МС
3	Аспарагин + Аспарагиновая кислота	0,06 ± 0,02	ВЭЖХ МС-МС
4	Глутамин + Глутаминовая кислота	2,10 ± 0,63	ВЭЖХ МС-МС
5	Глицин	0,39 ± 0,12	ВЭЖХ МС-МС
6	Гистидин	0,22 ± 0,07	ВЭЖХ МС-МС
7	Изолейцин	0,57 ± 0,17	ВЭЖХ МС-МС
8	Лейцин	1,03 ± 0,31	ВЭЖХ МС-МС
9	Лизин	1,17 ± 0,35	ВЭЖХ МС-МС
10	Метионин	0,07 ± 0,02	ВЭЖХ МС-МС
11	Фенилаланин	0,60 ± 0,18	ВЭЖХ МС-МС
12	Пролин	0,76 ± 0,23	ВЭЖХ МС-МС
13	Серин	0,16 ± 0,05	ВЭЖХ МС-МС
14	Треонин	0,35 ± 0,11	ВЭЖХ МС-МС
15	Транс-4-гидрокси-пролин	0,032 ± 0,010	ВЭЖХ МС-МС
16	Тирозин	0,50 ± 0,15	ВЭЖХ МС-МС
17	Валин	0,58 ± 0,17	ВЭЖХ МС-МС

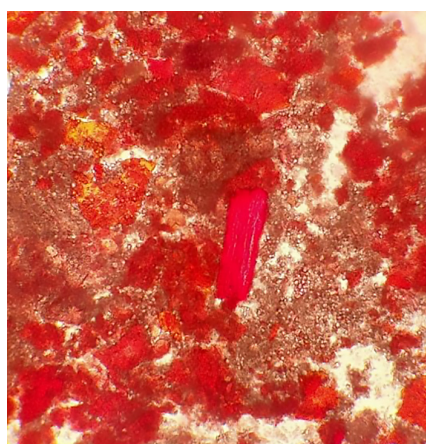
а) аминокислоты указаны на 100 г сухого корма

**Рисунок 10**

Микроструктура слоя базовой поликомпонентной системы сухого корма «Органик»

**Figure 10**

Microstructure of the Base Layer of the Multicomponent System of “Organic” Dry Feed



начает наличие в корме небольшого количества клетчатки в виде отдельных волокон от зерновых компонентов.

Исследование аминокислотного состава кормов «Органик» показали результаты, представленные в Таблице 3.

Аминокислотный состав корма «Органик» на мясном бульоне с мясными гранулами имеет показатели, представленные в Таблице 4.

**Таблица 4**

Результаты определения аминокислотного состава корма «Органик» на мясном бульоне с мясными гранулами

**Table 4**

Results of Amino Acid Composition Analysis of “Organic” Feed Cooked on Meat Broth with Meat Granules

Сухой корм «Органик» на мясном бульоне с мясными гранулами		
Наименование аминокислот	Количественный результат, г/100 г	Метод исследования
1 Аланин	0,045 ± 0,014	ВЭЖХ МС-МС
2 Аргинин	1,04 ± 0,31	ВЭЖХ МС-МС
3 Аспарагин + Аспарагиновая кислота	0,063 ± 0,019	ВЭЖХ МС-МС
4 Глутамин + Глутаминовая кислота	2,61 ± 0,78	ВЭЖХ МС-МС
5 Глицин	0,42 ± 0,13	ВЭЖХ МС-МС
6 Гистидин	0,28 ± 0,08	ВЭЖХ МС-МС
7 Изолейцин	0,77 ± 0,23	ВЭЖХ МС-МС
8 Лейцин	1,35 ± 0,40	ВЭЖХ МС-МС
9 Лизин	1,66 ± 0,50	ВЭЖХ МС-МС
10 Метионин	0,088 ± 0,026	ВЭЖХ МС-МС
11 Фенилаланин	0,70 ± 0,21	ВЭЖХ МС-МС
12 Пролин	0,91 ± 0,27	ВЭЖХ МС-МС
13 Серин	0,15 ± 0,05	ВЭЖХ МС-МС
14 Треонин	0,45 ± 0,13	ВЭЖХ МС-МС
15 Транс-4-гидроксипролин	0,047 ± 0,014	ВЭЖХ МС-МС
16 Тирозин	0,44 ± 0,13	ВЭЖХ МС-МС
17 Валин	0,68 ± 0,20	ВЭЖХ МС-МС

а) аминокислоты указаны на 100 г сухого корма

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Рост производства мяса неизбежно приводит к увеличению объема отходов, что представляет серьезную экологическую проблему. Это подтверждают предыдущие исследования, отмечающие, что отходы мясоперерабатывающих предприятий составляют до 50% перерабатываемого сырья (Балаякина и соавт., 2021; Kim et al., 2020; Martin-Rios et al., 2022). Международные программы устойчивого развития нацелены на внедрение малоотходных технологий, но, как показали ранее Monastirskii et al. (2022) и Lipinski (2020), доступ к таким технологиям имеет преимущественно крупный бизнес, оставляя фермерские и малые предприятия вне программы рециклинга.

Сравнение наших результатов с ранее известными подтверждает, что разработанные технологии переработки отходов в сухие корма соответствуют вызовам, обозначенным в литературе. Так, Cruz-Casas et al. (2021) отмечают сложность внедрения междисциплинарных технологий на малых предприятиях, а наша технология ориентирована на их основную специализацию, не требуя интеграции с химическими или биотехнологическими процессами.

Наши наблюдения за качеством полуфабрикатов «Рагу» для тушения и «Суповой набор» согласуются с результатами Горбуновой & Петруниной (2021), которые также указывали на образование потребительских отходов из-за низкого качества продукции. В частности, нами были выявлены отклонения в органолептических показателях, таких как содержание мякоти и текстура полуфабрикатов, что совпадает с выводами, сделанными в исследовании Тюрина и соавт. (2023).

Разработанная технология переработки мясокостных остатков в корм с натуральным составом демонстрирует преимущества перед известными технологиями. Например, амарантовая мука, как источник незаменимых аминокислот и сквалена, была предложена в исследованиях Silvério Lopes da Costa et al. (2018), но в нашем подходе она впервые интегрирована в состав кормов для непродуктивных животных. Использование стерилизации и дегидратации, что ранее предлагалось Shurson (2020), позволило нам создать продукт с длительным сроком хранения без консервантов. Кроме того, анализ

аминокислотного состава показывает, что корм соответствует или превышает нормативные показатели ГОСТ. Например, содержание лизина и лейцина в корме с мясными гранулами составляет 1,66 г и 1,35 г соответственно, что превосходит как нормативы, так и результаты ранее опубликованных исследований (Shields et al., 2023).

Тем не менее, наше исследование выявило некоторые ограничения, связанные с использованием растительных компонентов. Щадящий режим высушивания при 30–35°C предотвращает реакцию меланоидинообразования, но в то же время крахмалсодержащие компоненты, такие как кукурузная мука, придают корму хрупкость, что может ограничивать его использование для животных с проблемами зубов. Подобные проблемы не были описаны в исследованиях Gizatova et al. (2021), что может указывать на необходимость дальнейшей оптимизации рецептуры.

Наконец, наши результаты подтверждают выводы Баюрова (2020) о растущем спросе на натуральные корма для животных. Отсутствие глютена в составе и использование растительных волокон в небольших количествах делают продукт безопасным и соответствующим требованиям рационального питания.

В целом, разработанные технологические решения демонстрируют конкурентные преимущества по сравнению с ранее известными подходами, предлагая экономически доступный и экологически устойчивый способ переработки мясокостных отходов. Они могут быть внедрены на предприятиях различной мощности, что позволит не только сократить объем отходов, но и увеличить добавленную стоимость продукции.

## Ограничения исследования

Текущее исследование имеет ограничения, которые необходимо учитывать при интерпретации результатов и разработке дальнейших направлений работы. Образцы для исследования, включая мясокостные отходы, полуфабрикаты и сырьевые компоненты, были собраны в ограниченном географическом регионе (г. Москва и г. Сочи) и не могут полноценно отразить особенности переработки и качества продукции на предприятиях других ре-

гионов или стран. Кроме того, исследования проводились в лабораторных условиях с использованием оборудования, доступного на базе университета. Это может затруднить масштабирование предложенных технологических решений для промышленных предприятий, где оборудование и условия производства значительно отличаются.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ достижений науки в области переработки мясных отходов показал, что в настоящее время большинство предприятий, включая фермерские и малые хозяйства, не располагают эффективными технологиями для переработки отходов, что негативно сказывается на экологической ситуации. В рамках проведенного исследования была разработана универсальная технология, позволяющая снизить объем отходов на предприятиях различной мощности с использованием доступного оборудования, уже установленного на большинстве мясоперерабатывающих производств.

Ключевым решением стало применение тепловой обработки, обеспечивающей извлечение дополнительной мышечной мякоти из мясокостных остатков. Это позволило получить полноценную мясную массу, которая была интегрирована в рецептуру кормов для непродуктивных животных. Применение режима тепловой обработки также обеспечило обеззараживание сырья, включая уничтожение прионов, что ранее ограничивало использование свинины в кормах для собак.

В отличие от существующих рецептур сухих кормов, разработанный состав не содержит мясокостной массы, так как ее присутствие снижает качество и количество белка. Вместо этого были использованы полученные промежуточные продукты: мясная масса для изготовления гранул, мясокостный бульон для формирования базовой смеси, а кости переработаны в костную муку. Такой подход позволяет предприятиям организовать замкнутый производственный цикл, минимизируя образование отходов.

Качество полученного продукта полностью соответствует нормативам. Предложенные технологические решения позволяют не только снизить экологическую нагрузку, но и увеличить добавленную

стоимость продукции. Применение этой технологии может способствовать вовлечению большего числа предприятий, включая малые и фермерские хозяйства, в программы переработки отходов, тем самым улучшая экологическую устойчивость мясоперерабатывающей отрасли и способствуя сохранению окружающей среды.

## АВТОРСКИЙ ВКЛАД

**Ольга Владимировна Беспалова:** концептуализация, методология, предоставление ресурсов, проведение исследования, валидация результатов, формальный анализ, курирование данных, администрирование, руководство исследовательским проектом, создание рукописи, рецензирование и редактирование.

**Александр Юрьевич Соколов:** концептуализация, методология, проведение исследования, валида-

ция, формальный анализ, визуализация, написание рукописи.

**Александр Александрович Гажур:** концептуализация, методология, валидация, формальный анализ, визуализация, написание рукописи.

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

**Olga V. Bepalova:** conceptualization, methodology, investigation, validation, formal analysis, data curation, project administration, writing – review & editing.

**Alexander Yu. Sokolov:** conceptualization, methodology, investigation, validation, formal analysis, visualization, writing draft preparation.

**Alexander A. Gazhur:** conceptualization, methodology, validation, formal analysis, visualization, writing draft preparation.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Асланова, М.А., Деревницкая, О.К., Солдатова, Н.Е., & Боро, А.Л. (2024). Пищевой коллаген: биологическая ценность и отличительные признаки. *Мясная индустрия*, (4), 22–24. <http://doi.org/10.37861/2618-8252-2024-04-22-24>
- Aslanova, M.A., Derevickzkaaya, O.K., Soldatova N.E., & Bero, A.L. (2024). Food grade collagen: Biological value and distinctive features. *Meat Industry*, (4), 22–24. (In Russ.) <http://doi.org/10.37861/2618-8252-2024-04-22-24>
- Бабурина, М. И., Горбунова, Н. А., & Иванкин, А. Н. (2021). Ферментативная дефрагментация костного сырья для получения высококачественного белкового продукта. *Мясная индустрия*, (12), 14–18. <http://doi.org/10.37861/2618-8252-2021-12-35-39>
- Baburina, M. I., Gorbunova, N. A., & Ivankin, A. N. (2021). Enzymatic defragmentation of bone raw materials to obtain a high-quality protein product. *Meat Industry*, (12), 14–18. (In Russ.) <http://doi.org/10.37861/2618-8252-2021-12-35-39>
- Бабурина, М.И., Горбунова, Н.А., & Иванкин, А.Н. (2024). Переработка мясокостного сырья в корма для непродуктивных животных. *Мясная индустрия*, (7), 30–33. <http://doi.org/10.37861/2618-8252-2024-07-30-33>
- Baburina, M.I., Gorbunova, N.A., & Ivankin, A.N. (2024). Processing of meat-and-bone raw materials into feed for non-productive animals. *Meat Industry*, (7), 30–33. (In Russ.) <http://doi.org/10.37861/2618-8252-2024-07-30-33>
- Балаякина, К.Д., Детиненко, С.А., & Чернегов, Н.Ю. (2021). Переработка вторичных ресурсов как метод повышения эффективности деятельности предприятия АПК. *Modern Science*, 4(1), 77–86.
- Balyakina, K. D., Detinenko, S. A., & Chernegov, N. Yu. (2021). Recycling of secondary resources as a method of increasing the efficiency of an agro-industrial complex enterprise. *Modern Science*, 4(1), 77–86. (In Russ.)
- Баюров, Л.И. (2021). Сухие и влажные корма в кормлении собак: что лучше? *Научный журнал кубанского государственного аграрного университета*, 170(6), 1–22. <http://doi.org/10.21515/1990-4665-170-001>
- Bayurov, L.I. (2021). Dry and wet dog food in feeding dogs: what is better? *Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*, 170(6), 1–22. (In Russ.) <http://doi.org/10.21515/1990-4665-170-001>
- Баюров, Л.И. (2023). Сравнительная характеристика сухих кормов зарубежного производства для взрослых кошек. *Научный Журнал КубГАУ*, 186(02), 1–20. <http://doi.org/10.21515/1990-4665-172-002>
- Bayurov, L.N. (2023). Comparative assessment of Russian dry feed for adult large-breed dogs. *Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*, 186(02), 1–20. (In Russ.) <http://doi.org/10.21515/1990-4665-172-002>
- Горбунова, Н. А., & Петрунина, И. В. (2023). Проблемы использования отходов при производстве продукции предприятиями мясной отрасли. *Мясная индустрия*,

- (9), 32–36. <http://doi.org/10.37861/2618-8252-2023-09-32-36>
- Gorbunova, N.A., & Petrunina, I.V. (2023). Waste management problems in manufacturing products by enterprises of the industry. *Meat Industry*, (9), 32–36. (In Russ.) <http://doi.org/10.37861/2618-8252-2023-09-32-36>
- Ибрагимов, А.Г. (2019). Экологические проблемы сельского хозяйства. *Аграрная наука*, (4), 73–75. <http://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-324-4-73-75>
- Ibragimov, A. G. (2019). Ecological problems of agriculture. *Agrarian Science*, (4), 73–75. (In Russ.) <http://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-324-4-73-75>
- Казakov, Н.Н. (2012). *Разработка консервированного полнорационного корма для собак с коррекцией дисбаланса рациона* [Кандидатская диссертация]. Воронежский государственный университет инженерных технологий.
- Kazakov, N.N. (2012). *Development of canned full-fat dog food with correction of dietary imbalance* [Doctoral dissertation]. Voronezh State University of Engineering Technologies. (In Russ.)
- Конурбаева, Ж.Т., Денисова, О.К., & Закимова, А.М. (2019). Международная практика использования вторичного сырья в отрасли животноводства. *Проблемы агрорынка*, (2), 138–145.
- Konurbayeva, Zh.T., Denisova, O.K., & Zakimova, A.M. (2019). International practice of using secondary raw materials in the field of livestock production sector. *Problems of Agrimarket*, (2), 138–145. (In Russ.)
- Крылова, А.Ю., Зайченко, В.М., Гаева, Т.Н., Лишинер, И.И., & Малова, О.В. (2023). Целесообразность создания промышленного производства жидкого биотоплива в России. *Российские нанотехнологии*, 18(1), 15–23. <http://doi.org/10.56304/S1992722323010065>
- Krylova, A.Yu., Zaichenko, V.M., Gaeva, T.N., Lishiner, I.I., & Malova, O.V. (2023). Feasibility of creating industrial production of liquid biofuels in Russia. *Nanobiotechnology Reports*, 18(1), 15–23. (In Russ.) <http://doi.org/10.56304/S1992722323010065>
- Кузлякина, Ю.А., & Юрчак, З.А. (2017). К вопросу экологической безопасности: побочное сырье и отходы мясной промышленности. *Все о мясе*, (6), 29–31.
- Kuzlyakina, Yu. A., & Yurchak, Z. A. (2017). Environmental safety problem: By-products and waste of the meat industry. *Vsyo o Myase*, (6), 29–31. (In Russ.)
- Кузлякина, Ю. А., & Замула, В. С. (2020). Практика управления экологическими рисками на мясоперерабатывающем предприятии. *Все о мясе*, (6), 19–22. <http://doi.org/10.21323/2071-2499-2020-6-19-22>
- Kuzlyakina, Yu.A., & Zamula, V.S. (2020). Environmental risk management practice at a meat processing plant. *Vsyo o Myase*, (6), 19–22. (In Russ.) <http://doi.org/10.21323/2071-2499-2020-6-19-22>
- Мезенова, Н.Ю., Агафонова, С.В., Мезенова, О.Я., Байдалинова, Л.С., & Бедарева, О.М. (2020). Исследование процесса модификации мясокостного сырья крупного рогатого скота методом высокотемпературного гидролиза. *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств»*, (1), 18–26. <http://doi.org/10.17586/2310-1164-2020-10-1-18-26>
- Mezenova, N.Yu., Agafonova, S.V., Mezenova, O.Ya., Bajdalinova, L.S., & Bedareva, O.M. (2020). The process of modifying cattle meat and bone raw materials by high-temperature hydrolysis. *Processes and Food Production Equipment*, (1), 18–26. (In Russ.) <http://doi.org/10.17586/2310-1164-2020-10-1-18-26>
- Никитина, М.А., Осянин, Д.Н., & Петрунина, И.В. (2020). Цифровые технологии – инновационные решения для сельского хозяйства. *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*, 1(38), 127–132. <http://doi.org/10.22314/2658-4859-2020-67-1-127-132>
- Nikitina, M.A., Osyanin, D.N., & Petrunina, I.V. (2020). Digital technologies - innovative solutions for agriculture. *Electrical Engineering and Electrical Equipment in Agriculture*, 1(38), 127–132. (In Russ.) <http://doi.org/10.22314/2658-4859-2020-67-1-127-132>
- Петрунина, И.В., & Горбунова, Н.А. (2024). Использование модели экономики замкнутого цикла в отдельных отраслях агропромышленного комплекса. *Пищевые системы*, 7(2), 231–237. <http://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-2-231-237>
- Petrunina, I.V., & Gorbunova, N.A. (2024). Using the model of closed-loop economy in certain branches of the agro-industrial complex. *Food Systems*, 7(2), 231–237. (In Russ.) <http://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-2-231-237>
- Порфирьев, Б.Н. (2020). Повышение эффективности обращения с отходами производства и потребления. *Проблемы прогнозирования*, 1(178), 123–125.
- Porfiriyev, B.N. (2020). Improving the efficiency of production and consumption waste management. *Problemy Prognozirovaniya*, 1(178), 123–125. (In Russ.)
- Рамазанов, И.А., Николаева, М.А., & Рамазанов, С.А. (2024). Экосистемный подход как инструмент решения проблем мясного рынка. *Аграрная наука*, (5), 129–135. <http://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-382-5-129-135>
- Ramazanov, I.A., Nikolaeva, M.A., & Ramazanov, S.A. (2024). Ecosystem approach as a tool for solving meat market problems. *Agrarian Science*, (5), 129–135. (In Russ.) <http://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-382-5-129-135>
- Соколов, А.Ю. (2023). Отечественные разработки белковых систем типа «Коллаген» для решения задач отраслевого импортозамещения. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (1), 200–211. <http://doi.org/10.36107/spfp.2023.326>
- Sokolov, A.Yu. (2023). Domestic developments of protein systems such as «collagen» for solving the problems of industrial import substitution. *Storage and Processing of Farm Products*, (1), 200–211. (In Russ.) <http://doi.org/10.36107/spfp.2023.326>

- Тюрин, В.Г., Родионова, Н.В., Бирюков, К.Н., Обухов, И.Л., & Авылов, Ч.К. (2023). Особенности экосистемы биологических прудов в процессе естественной очистки животноводческих стоков. *Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии*, 2(46), 208–211. <http://doi.org/10.36871/vet.san.hyg.ecol.202302012>
- Tyurin, V.G., Rodionova, N.V., Biryukov, K.N., Obukhov, I.L., & Avylov, Ch.K. (2023). Features of the ecosystem of biological ponds in the process of natural treatment of livestock wastewater. *Russian Journal Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology*, 2(46), 208–211. (In Russ.) <http://doi.org/10.36871/vet.san.hyg.ecol.202302012>
- Углов, В.А., Шелепов, В.Г., Бородай, Е.В., & Слепчук, В.А. (2020). Перспективы использования вторичных ресурсов мясоперерабатывающих отраслей на основе патентных исследований. *Контроль качества и безопасности пищевой продукции*, 3(29), 39–46. <http://doi.org/10.31677/2311-0651-2020-29-3-39-46>
- Uglov, V. A., Sheleпов, V. G., Borodaj, E. V., & Slepchuk, V. A. (2020). Prospects for using secondary resources of meat processing industries based on patent research. *Innovations and Food Safety*, 3(29), 39–46. (In Russ.) <http://doi.org/10.31677/2311-0651-2020-29-3-39-46>
- Хайруллина, О.И. (2021). Тенденции производства и потребления основных видов мяса в России. *Креативная экономика*, 15(5), 2245–2260. <http://doi.org/10.18334/ce.15.5.112098>
- Hajrullina, O. I. (2021). Trends in the production and consumption of the main types of meat in Russia. *Creative Economy*, 15(5), 2245–2260. (In Russ.) <http://doi.org/10.18334/ce.15.5.112098>
- Чернявская, Л. А., & Гордынец, С. А. (2017). Использование побочных продуктов переработки мяса в производстве сухих гранулированных кормов для непродуктивных животных. *Повышение уровня и качества биогенного потенциала в животноводстве* (с. 197–201). Ярославль: Ярославская ГСХА.
- Chernyavskaya, L.A., & Gordynec, S.A. (2017). Utilization of meat by-products in the production of dry pelleted feeds for non-productive animals. *Improving the level and quality of nutrient potential in livestock production* (pp. 197–201). Yaroslavl': Yaroslavskaia GSHA. (In Russ.)
- Alibekov, R.S., Alibekova, Z.I., Bakhtybekova, A.R., Taip, F.S., Urazbayeva, K.A., & Kobzhazarova, Z.I. (2024). Review of the slaughter wastes and the meat by-products recycling opportunities. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, (8), 1-17. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1410640>
- Bilka, B., Tomaszewska, M., Kołożyn-Krajewska, D., Szczepański, K., Laba, R. & Laba, S. (2020). Environmental aspects of food wastage in trade – a case study. *Environmental Protection and Natural Resources*, 31(2), 24–34. <http://doi.org/10.2478/oszn-2020-0009>
- Chowdhury, M.W., Nabi, M.N., Arefin, M.A., Rashid, F., Islam, M.T., Gudimetla, P. & Muyeen, S. M. (2022). Recycling slaughterhouse wastes into potential energy and hydrogen sources: An approach for the future sustainable energy. *Bioresource Technology Reports*, (19), 101-133. <http://doi.org/10.1016/j.biteb.2022.101133>
- Cruz-Casas, D.E., Aguilar, C.N., Ascacio-Valdés, J.A., Rodríguez-Herrera, R.Chávez-González, M.L., & Flores-Gallegos, A.C. (2021). Enzymatic hydrolysis and microbial fermentation: the most favorable biotechnological methods for the release of bioactive peptides. *Food Chemistry*, (3), 100047. <http://doi.org/10.1016/j.fochms.2021.100047>
- Donadelli, R.A., Jones, C.K., & Beyer, R.S. (2019). The amino acid composition and protein quality of various egg, poultry meal by-products, and vegetable proteins used in the production of dog and cat diets. *Poultry Science*, 98(3), 1371–1378. <http://doi.org/10.3382/ps/pey462>
- Ganeson, K., Mouriya, G.K., Bhubalan, K., Razifah, M.R., Jasmine, R., Sowmiya, S., Amirul, A. A, Vigneswar, S. & Ramakrishna, S. (2023). Smart packaging – A pragmatic solution to approach sustainable food waste management. *Food Packaging and Shelf Life*, (36), 101-144. <http://doi.org/10.1016/j.fpsl.2023.101044>
- Gizatova, N., Gizatov, A., Zubairova, L., Mironova, I., Nigmatyanov, A., Chernyshenko, Y., & Pleshkov, A. (2021). Development of technology for the production of sausage produce using secondary collagen-containing raw materials. *International Journal of Food Studies*, (10), 282-295. <http://doi.org/10.7455/ijfs/10.2.2021.a1>
- Gómez, I., Janardhanan, R., Ibañez, F. C., & Beriain, M. J. (2020). The effects of processing and preservation technologies on meat quality: Sensory and nutritional aspects. *Foods*, 9(10), 1416. <http://doi.org/10.3390/foods9101416>
- Ferronato, G., Corrado, S., De Laurentiis, V., & Sala, S. (2021). The Italian meat production and consumption system assessed combining material flow analysis and life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*, 321, Article 128705. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128705>
- Izydorczyk, G., Mikula, K., Skrzypczak, D., Witek-Krowiak, A., Mironiuk, M., Furman, K., Gramza, M., Moustakas, K., & Chojnacka, K. (2022). Valorization of poultry slaughterhouse waste for fertilizer purposes as an alternative for thermal utilization methods. *Journal of Hazardous Materials*, 424, Article 127328. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127328>
- Juknienė, I., Zaborskienė, G., Jankauskienė, A., Kabašinskienė, A., Zakarienė, G., & Bliznikas, S. (2022). Effect of lyophilization process on nutritional value of meat by products. *Applied Sciences*, 12, Article 1012984. <https://doi.org/10.3390/app122412984>
- Karwowska, M., Laba, S., & Szczepański, K. (2021). Food loss and waste in the meat sector – Why the consumption stage generates the most losses? *Sustainability*, 13(11), Article 6227. <https://doi.org/10.3390/su13116227>
- Kilibarda, N., Karabasil, N., & Stojanović, E. (2023). Meat matters: Tackling food loss and waste in the meat sector. *Meat Technology*, 64(2), 177–182. <https://doi.org/10.18485/meattech.2023.64.2.32>
- Kim, V. V., Galaktionova, E. A., & Antonevich, R. V. (2020). Food losses and food waste in the consumer market of the

- Russian Federation. *International Agricultural Journal*, 4, 1–20. <https://doi.org/10.24411/2588-0209-2020-10191>
- Kowalski, Z., Kulczycka, J., Makara, A., & Harazin, P. (2021). Quantification of material recovery from meat waste incineration – An approach to an updated food waste hierarchy. *Journal of Hazardous Materials*, 416, Article 126021. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126021>
- Lipinski, B. (2020). Why does animal-based food loss and waste matter? *Animal Frontiers*, 10(4), 48–52. <https://doi.org/10.1093/af/vfaa039>
- Martin-Rios, C., Arbolea, J. C., Bolton, J., & Erhardt, N. (2022). Editorial: Sustainable food waste management. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6, Article 885250. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.885250>
- Monastirskii, D., Kulikova, M. A., & Volchek, A. (2022). An analysis of a waste management approach for pig farms. *Journal of Agriculture and Environment*, 11(39), 1–6. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20224804001>
- Mohan, A., & Long, J. M. (2021). Valorization of wastes and by-products from the meat industry. In *Valorization of agri-food wastes and by-products* (pp. 245–268). Georgia: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824044-1.00010-6>
- Nouri, K., Khalaji, S., Zamani, F., & Saki, A. (2021). Acid hydrolysis of gelatin extracted from cow skin: Properties and potential for use as a source of small peptides and free amino acids for broiler chickens. *Animal Production Science*, 61(4), 399–411. <https://doi.org/10.1071/AN20411>
- Raihan, A. (2023). The influence of meat consumption on greenhouse gas emissions in Argentina. *Resources Conservation & Recycling Advances*, 19(4), Article 200183. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2023.200183>
- Rosemarin, A., Macura, B., Carolus, J., Barquet, K., Ek, F., Järnberg, L., Lorick, D., Johannesdottir, S., Pedersen, S.M., Koskiaho, J., Haddaway, N.R., Okruszko, T. (2020). Circular nutrient solutions for agriculture and wastewater: Review of technologies and practices. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 45, 78–91. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2020.09.007>
- Seredin, P., Goloshchapov, D., Emelyanova, A., Buylov, N., Kashkarov, V., Lukin, A., Ippolitov, Yu., Khmelevskaya, T., Mahdi, I. A., & Mahdi, M. A. (2022). *Engineering of biomimetic mineralized layer formed on the surface of natural dental enamel. Results in Engineering*, (15), 100583. (In Russ.) <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100583>
- Sharma, S., Mitra, F., Imran, Z., & Verma, M. (2021). A brief review on the utilization of waste products from the meat industry. *International Journal of Research and Analytical Reviews*, 8, 856–863. <http://doi.org/10.1007/s13202-021-01370-4>
- Shields, C. J., Rozzi, N. L., Aldrich, C. G., & Talavera, M. J. (2023). Effects of different chicken protein sources on palatability in dry adult dog food. *Frontiers in Animal Science*, 4, 1–11. <https://doi.org/10.3389/fanim.2023.1292658>
- Shurson, G. K. (2020). “What a waste” – Can we make animal food production systems more sustainable by recycling food waste into animal feed in an era of health, climate and economic crises? *Sustainability*, 12(17), Article 7071. <https://doi.org/10.3390/su12177071>
- Silvério Lopes da Costa, S., Pereira, A., Passos, E. A., Hora Alves, J.P., Borges Garcia, C.A., & Araujo, R. (2018). Evaluation of the chemical composition of dry feeds for dogs and cats. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 29(12), 1–10. <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20180142>
- Suychinov, A., Akimova, A., Kakimov, D. A., Zharykbasov, Y., Baikadamova, A., Okuskhonova, E., Bakiyeva, A., & Ibragimov, N. (2024). Revolutionizing meat processing: A nexus of technological advancements, sustainability, and cultured meat evolution. *Slovak Journal of Food Sciences*, 18, 331–346. <https://doi.org/10.5219/1957>
- Ungureanu, N., Vladut, V., Biris, S.S., & Gheorghiiță, N.E. (2023). Management of waste and by-products from meat industry. *International Symposium ISB-INMATEH – Agricultural and Mechanical Engineering* (pp.256-267). Bucharest: INMA.
- Zhou, Z., Feng, W., Moghadas, K., Baneshi, N., Noshadi, B., Baghaei, S., & Dehkordi, D.A. (2024). Review of recent advances in bone scaffold fabrication methods for tissue engineering for treating bone diseases and sport injuries. *Tissue and Cell*, 88(6), Article 102390. <http://doi.org/10.1016/j.tice.2024.102390>

# Влияние корня одуванчика лекарственного на водопоглощение, реологические свойства теста и качество хлеба

Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Российская Федерация

М. А. Ахметзянова, А. В. Маслов, З. Ш. Мингалеева

## КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Александр Васильевич Маслов

E-mail: maslov-aleksandr95@mail.ru

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Ахметзянова, М.А., Маслов, А.В., & Мингалеева, З.Ш. (2024). Одуванчик лекарственный в технологии производства хлебобулочных изделий. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(4), 105-118.

<https://doi.org/10.36107/spfr.2024.4.582>

ПОСТУПИЛА: 11.05.2024

ДОРАБОТАНА: 20.11.2024

ПРИНЯТА: 16.12.2024

ОПУБЛИКОВАНА: 27.12.2024

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.



## АННОТАЦИЯ

**Введение:** Актуальным направлением исследований в пищевой промышленности становится обогащение продуктов питания массового потребления макро- и микронутриентами. Среди разнообразия доступных сырьевых ресурсов для обогащения продуктов особое внимание уделяется растительному сырью, содержащему широкий спектр пищевых и биологически активных веществ.

**Цель:** Изучить химический состав корня одуванчика лекарственного, его влияние на показатели качества и водопоглощение пшеничной муки, реологические свойства теста и качество хлеба для оценки возможности применения в производстве функциональных хлебобулочных изделий.

**Материалы и методы:** В качестве объектов исследования были выбраны мука пшеничная первого сорта и корень одуванчика лекарственного. При проведении экспериментов использовались общепринятые стандартные методы. Порошок корня одуванчика вносили взамен пшеничной муки первого сорта в концентрациях 1, 2 и 3%. Хлебобулочные изделия готовили безопасным способом.

**Результаты:** Порошок корня одуванчика лекарственного по сравнению с мукой пшеничной первого сорта содержал в 3,8 раз больше клетчатки и в 18 раз больше общей золы. Внесение исследуемой добавки в муку повышало индекс деформации клейковины по сравнению с контролем в среднем на 3,6% и снижало водопоглощение муки на 0,5–0,8%. Порошок корня одуванчика лекарственного оказывал влияние на органолептические показатели готовой продукции: цвет корки менялся от светло-золотистого до светло-серого, вкус и запах имел характерные черты вносимой добавки. Внесение добавки приводило к снижению параметра яркости, увеличению индекса красного оттенка и уменьшению индекса желтого оттенка. Опытные изделия имели правильную форму, без подрывов и трещин, эластичный мякиш с тонкостенной и равномерной пористостью. При внесении добавки показатель пористости возрастал на 0,8–3,1%, удельный объем — на 10,4–11,8% по отношению к контролю.

**Выводы:** На основании исследований представляется возможным производство хлебобулочных изделий с использованием порошка корня одуванчика лекарственного в концентрации не более 2% взамен муки. Данная концентрация позволяет получить готовые изделия с приемлемыми вкусовыми качествами и улучшенными физико-химическими показателями.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

одуванчик лекарственный (*Taraxacum Officinale* Wigg); порошок корня одуванчика; реология теста; функциональные продукты; органолептические показатели хлеба; физико-химические свойства теста и хлеба; пористость мякиша; кислотность мякиша; влажность хлеба

# Effect of Common Dandelion Root on Water Absorption, Rheological Properties of Dough, and Bread Quality

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russian Federation

Maria A. Akhmetzyanova, Alexander V. Maslov,  
Zamira Sh. Mingaleeva

## CORRESPONDENCE:

Alexander V. Maslov,

E-mail: maslov-aleksandr95@mail.ru

## FOR CITATIONS:

Akhmetzyanova, M.A., Maslov, A.V., & Mingaleeva, Z.Sh. (2024). Effect of common dandelion root on water absorption, rheological properties of dough, and bread quality. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(4), 105-118. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.4.582>

RECEIVED: 11.05.2024

REVISED: 20.11.2024

ACCEPTED: 16.12.2024

PUBLISHED: 27.12.2024

## DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



## ABSTRACT

**Introduction:** The enrichment of mass-consumed food products with macro- and micronutrients is becoming an urgent area of research in the food industry. Among the variety of available raw materials for food fortification, special attention is paid to plant raw materials containing a wide range of food and biologically active substances.

**Purpose:** To study the possibility of producing bakery products from wheat flour of the first grade using common dandelion root.

**Materials and Methods:** Wheat flour of the first grade and common dandelion root were selected as the objects of research. Generally accepted standard methods were used during the experiments. Common dandelion root powder was introduced instead of wheat flour of the first grade in concentrations of 1, 2 and 3%. Bakery products were prepared using a straight dough method.

**Results:** Common dandelion root powder, compared with wheat flour of the first grade, contained 3.8 times more fiber and 18 times more total ash. The incorporation of the studied additive to flour increased the gluten deformation index by an average of 3.6% compared with the control and reduced the water absorption of flour by 0.5-0.8%. Common dandelion root powder had an effect on the organoleptic characteristics of the finished product: the color of the bread crust varied from light golden to light gray, the taste and smell had characteristic features of the additive. The incorporation of the additive led to a decrease in the brightness parameter, an increase in the red hue index and a decrease in the yellow hue index. The experimental products had the correct shape, without oven breaks and cracks, elastic crumb with thin-walled and uniform porosity. When the additive was incorporated, the porosity index increased by 0.8-3.1%, and the specific volume increased by 10.4-11.8% relative to the control.

**Conclusion:** Based on research, it is possible to produce bakery products using common dandelion root powder in a concentration of no more than 2% instead of flour. This concentration makes it possible to obtain finished products with acceptable taste qualities and improved physico-chemical parameters.

## KEYWORDS

common dandelion (*Taraxacum officinale*); dandelion root powder; dough rheology; functional foods; sensory properties of bread; physicochemical properties of dough and bread; crumb porosity; crumb acidity; bread moisture

## ВВЕДЕНИЕ

В 2024 году наблюдается рост осведомленности потребителей о составе продуктов питания и их влиянии на здоровье. Потребители все более требовательны к составу пищи, стремятся сократить потребление углеводов, жиров и искусственных добавок. В связи с этим, актуальным направлением исследований в пищевой промышленности становится обогащение продуктов питания массового потребления макро- и микронутриентами с целью повышения привлекательности данных продуктов для потребителей, а также улучшения здоровья и качества жизни населения страны. Среди разнообразия доступных сырьевых ресурсов для обогащения продуктов особое внимание уделяется растительному сырью, содержащему широкий спектр пищевых и биологически активных веществ (Maslov et al., 2023; Гумеров с соавт., 2022).

Хлебобулочные изделия из пшеничной муки относятся к пищевым продуктам массового потребления, входящим в ежедневный рацион питания широких слоев населения, поэтому поиск новых источников растительного сырья для производства хлебопекарной продукции становится актуальной и важной задачей исследований (Paura et al., 2022). В этом отношении с точки зрения экономической эффективности и доступности интерес для изучения представляют дикорастущие инулинсодержащие растения, которые содержат кроме макро- и микронутриентов, входящих в состав большинства растительного сырья, также дополнительно высокомолекулярный инулин (Естафьев и соавт., 2014; Кайшев и соавт., 2018). Польза инулина для здоровья заключается в уменьшении инсулинорезистентности при сахарном диабете второго типа, особенно у людей, страдающих ожирением (Rao, 2019). В связи с этим, исследования, направленные на разработку технологий функциональных и лечебно-профилактических продуктов питания с инулином, способствующих снижению и стабилизации уровня сахара в крови в течение дня, являются актуальными для пищевой промышленности (Оробинская, 2016). Так, изучается возможность применения корней инулинсодер-

жащих растений в технологии функциональных пищевых продуктов. Изучена возможность применения якона и продуктов его переработки в производстве функциональных продуктов питания.<sup>1</sup> В технологии производства хлебобулочных и мучных кондитерских изделий предложены способы производства изделий лечебно-профилактической направленности с применением топинамбура (Васильев и соавт., 2019), производства пряничных изделий с гидролизованным порошком топинамбура (Тертычная и соавт., 2020), активации дрожжей с использованием порошка корня лопуха<sup>2</sup>.

С целью обогащения хлебобулочных изделий инулином, макро- и микронутриентами большой интерес представляет одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale* Wigg), который является многолетним растением семейства Астровые. Существует более 2000 видов растений, принадлежащих к роду *Taraxacum*, в России встречаются около 200 видов, представители которых распространены почти на всей территории страны (Дьякова и соавт., 2016). *Taraxacum officinale* Wigg входит в список лекарственных растений большинства мировых фармакопей. В фармацевтической промышленности находят применение корни, листья и цветки *Taraxacum officinale* Wigg. Корни одуванчика собирают в осенний период и высушивают. В высушенном виде они не имеют запаха, но обладают горьковатым вкусом. Собранное сырье содержит сесквитерпеновые лактоны, фенольные кислоты (кофейная, хлорогеновая, кумариновая), флавоноиды и кумарины, а также полисахарид инулин, который является пищевым волокном и обладает пробиотическими свойствами (Fan et al., 2023). Помимо инулина, в корнях найдены низкомолекулярные полифруктаны (инулиды) и пектиновые полисахариды. Благодаря способности связывать и выводить из организма токсичные элементы, пектиновые вещества применяются в медицине, фармацевтической и пищевой промышленности. Кроме того, в корнях одуванчика лекарственного обнаружены следующие биологически активные вещества: сахара, тритерпеновые соединения, аминокислоты и оксикислоты, свободные жирные кислоты, каротин, тиамин, аскорбиновая кислота, рибофла-

<sup>1</sup> Mikhailov, E. V., Aristov, A. V., Derkanosova, N. M., Korneva, E. S., & Gins, V. K. (2020). In vivo experimental evaluation of functional food ingredient being powdered prefabricated acon. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 422, No. 1, p. 012002). IOP Publishing.

<sup>2</sup> Автор.

вин и другие витамины. Сообщается также, что обжаренные корни одуванчика можно использовать в пищевой промышленности в качестве заменителя кофе (Vural, 2024).

Установлена способность корней одуванчика повышать свертываемость крови и выводить из организма холестерин, оказывая благоприятное действие при атеросклерозе. Корень *Taraxacum officinale* Wigg проявляет антиоксидантные, антибактериальные, противовоспалительные, противоопухолевые, гепатопротекторные и гиполипидемические свойства, оказывает легкое слабительное, мочегонное и желчегонное действие, снижает уровень холестерина в крови (Fan et al., 2023; Sharma et al., 2023). Корень одуванчика лекарственного рекомендуется включать в рацион диетического питания больным сахарным диабетом (Li et al., 2021; Türkmen et al., 2023). При этом данное лекарственное растение входит в состав травяных сборов, рекомендуемых при отсутствии аппетита. Корень и листья одуванчика используются в медицинской практике при лечении заболеваний органов желудочно-кишечного тракта, печени, почек и в качестве седативного средства (Cacak-Pietrzak et al., 2021; Wu, 2021; Zheng et al., 2022; Korbášová et al., 2022).

Основываясь на выводах, полученных в ходе исследований российских и зарубежных ученых, авторы определили, что отсутствуют данные о комплексном влиянии корня одуванчика лекарственного на технологические характеристики производства обогащенных хлебобулочных изделий. Предметом настоящего исследования является всесторонний анализ влияния корня одуванчика лекарственного на пищевую ценность, белково-протеиназный, углеводно-амилазные комплексы, свойства тестовых полуфабрикатов в процессе замеса и брожения,

а также органолептические и физико-химические характеристики готовых изделий. Целью настоящего исследования: изучить химический состав корня одуванчика лекарственного, его влияние на показатели качества и водопоглощение пшеничной муки, реологические свойства теста и качество хлеба для оценки возможности применения в производстве функциональных хлебобулочных изделий.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Сырье

При проведении исследований использовали пшеничную муку первого сорта «Царица хлебов» (ОО «Причулымье», г. Ачинск), по показателям качества удовлетворяющую требованиям ГОСТ 26574–2017<sup>3</sup>, прессованные дрожжи «Люкс Экста» — ТУ 9182–038–48975583–2011, соль пищевую — ГОСТ Р 51574–2018<sup>4</sup> и воду питьевую — СанПиН 1.2.3685–21<sup>5</sup>. Корень одуванчика лекарственного (ЛСР-000053/08) приобретали в аптечной сети и измельчали в порошок с размером частиц менее 1 мм в лабораторной мельнице.

### Методы оценки качества сырья

Общее содержание нутриентов определяли с использованием следующих методов: белок — по ГОСТ 10846–91<sup>6</sup>, жир — по ГОСТ 29033–91<sup>7</sup>, сырая клетчатка — по ГОСТ 31675–2012<sup>8</sup>, минеральные вещества — по ГОСТ 27494–2016<sup>9</sup>. Изучали технологические показатели качества муки: влажность — по ГОСТ 9404–88<sup>10</sup>, содержание сырой клейковины и ее качество — по ГОСТ 27839–2013<sup>11</sup>, влажность сырой клейковины и содержание сухой

<sup>3</sup> ГОСТ 26574–2017. (2018). Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия. М.: Стандартинформ.

<sup>4</sup> ГОСТ Р 51574–2018. (2018). Соль пищевая. Общие технические условия. М.: Стандартинформ.

<sup>5</sup> САНПИН 1.2.3685–21. (2021). Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.

<sup>6</sup> ГОСТ 10846–91. (2009). Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка. М.: Стандартинформ.

<sup>7</sup> ГОСТ 29033–91. (2004). Зерно и продукты его переработки. Метод определения жира. М.: ИПК Издательство стандартов.

<sup>8</sup> ГОСТ 31675–2012. (2020). Корма. Методы определения содержания сырой клетчатки с применением промежуточной фильтрации. М.: Стандартинформ.

<sup>9</sup> ГОСТ 27494–2016. (2019). Мука и отруби. Методы определения зольности. М.: Стандартинформ.

<sup>10</sup> ГОСТ 9404–88. (2007). Мука и отруби. Метод определения влажности. М.: Стандартинформ.

<sup>11</sup> ГОСТ 27839–2013. (2014). Мука пшеничная. Методы определения количества и качества клейковины. М.: Стандартинформ.

клейковины — по ГОСТ 28797–90<sup>12</sup>, число падения — по ГОСТ 27676–88<sup>13</sup>. Исследования технологических показателей качества проводили при замене части муки на порошок корня одуванчика лекарственного в количестве 1, 2 и 3 % взамен муки.

### Водопоглощение муки и реологические характеристики теста

Определение проводили путем замеса теста в месилке прибора Farinograph-AT Brabender по ГОСТ ISO 5530–1–2013<sup>14</sup> из муки и воды. Количество муки рассчитывали исходя из массы муки 300 г базисной влажностью 14 %. Воду дозировали до достижения консистенции теста в диапазоне 480–520 FE. Во время замеса определяли число качество, время образования, устойчивость и степень разжижения теста.

### Замес теста, процесс тестоведения и выпечка изделий

Тесто для контрольных образцов изделий замешивали по унифицированной рецептуре, включающей пшеничную муку (100 кг), прессованные дрожжи (1,0 кг) и поваренную соль (1,3 кг). Воду вносили в количестве, необходимом для достижения влажности теста 46 %. При замесе теста для опытных образцов изделий пшеничную муку заменяли на порошок корня одуванчика лекарственного в количестве 1, 2 и 3 % от массы муки. Тесто замешивали в течение 4 минут в лабораторной тестомесильной машине У1-ЕТВ. Брожение тестовых полуфабрикатов проводили в термостате при 30–32 °С в течение 170 мин. Кислотность тестовых полуфабрикатов определяли титрованием водным раствором NaOH с концентрацией 0,1 моль/дм<sup>3</sup>. После брожения тесто делили на куски. Масса тестовых заготовок составляла 380 грамм. Заготовки укладывали в хлебопекарные

формы Л 11 и направляли на окончательную расстойку, которая продолжалась в течение 45 мин при 35 °С. Изделия выпекались 40 минут при 180 °С. После выпечки хлеб охлаждали и хранили до проведения анализов в течение 24 часов при 20 °С.

### Анализ качества готовых хлебобулочных изделий

Готовые хлебобулочные изделия анализировали по органолептическим и физико-химическим показателям через 24 часа после выпечки. Органолептические показатели качества оценивали по 10 бальной шкале, средний балл рассчитывали с учетом коэффициентов весомости каждого показателя.

Физико-химические показатели готовых изделий определяли следующими методами: влажность — по ГОСТ 21094–2022<sup>15</sup>, кислотность — по ГОСТ 5670–96<sup>16</sup>, пористость — по ГОСТ 5669–96<sup>17</sup>, удельный объем — по ГОСТ 27669–88<sup>18</sup>.

### Анализ цветовых характеристик хлебобулочных изделий

Цветовые характеристики мякиша изделий измеряли колориметром CS-10 (Китай) согласно методу, описанному в работе Автора с соавт., 2023.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Химический состав сырья

На начальных этапах исследования проводили изучение показателей качества пшеничной муки, порошка корня одуванчика лекарственного и его влияние на свойства муки.

<sup>12</sup> ГОСТ 28797–90. (2007). Мука пшеничная. Определение содержания сухой клейковины. М.: Стандартинформ.

<sup>13</sup> ГОСТ 27676–88. (2009). Зерно и продукты его переработки. Метод определения числа падения. М.: Стандартинформ.

<sup>14</sup> ГОСТ ISO 5530–1–2013. (2019). Мука пшеничная. Физические характеристики теста. Часть 1. Определение водопоглощения и реологических свойств с применением фаринографа. М.: Стандартинформ.

<sup>15</sup> ГОСТ 21094–2022. (2022). Изделия хлебобулочные. Методы определения влажности. М.: Стандартинформ.

<sup>16</sup> ГОСТ 5670–96. (2006). Хлебобулочные изделия. Методы определения кислотности. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации.

<sup>17</sup> ГОСТ 5669–96. (2006). Хлебобулочные изделия. Метод определения пористости. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации.

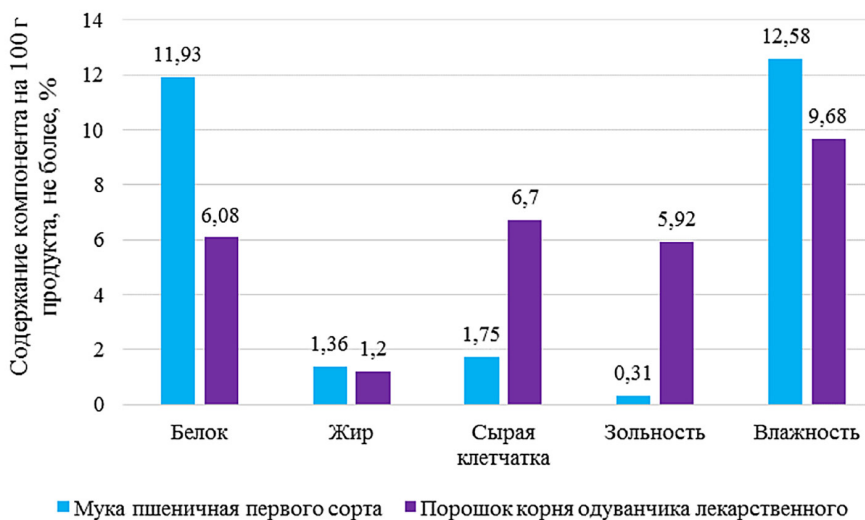
<sup>18</sup> ГОСТ 27669–88. (2007). Мука пшеничная хлебопекарная. Метод пробной лабораторной выпечки хлеба. М.: Стандартинформ.

**Рисунок 1**

Химический состав пшеничной муки первого сорта и порошка корня *Taraxacum officinale* Wigg

**Figure 1**

Chemical Composition of First-Grade Wheat Flour and the Powder of *Taraxacum officinale* Wigg Root



На Рисунке 1 приведен химический состав пшеничной муки первого сорта и порошка корня одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale* Wigg).

Данные Рисунка 1 показывают, что пшеничная мука первого сорта соответствовала сорту муки, заявленному производителем. Порошок корня *Taraxacum officinale* Wigg содержал меньше на 2,9% влаги, чем пшеничная мука, а также уступал муке по количеству белка и жира, но превосходил ее по содержанию клетчатки в 3,8 раза и более чем в 18 раз по содержанию общей золы.

### Свойства клейковины и амилолитическая активность муки

В Таблице 1 приведено влияние порошка корня *Taraxacum officinale* Wigg на свойства клейковины и амилолитическую активность пшеничной муки первого сорта.

Согласно данным Таблицы 1 с увеличением количества порошка корня одуванчика лекарственного содержание сырой клейковины снижалось по сравнению с контролем на 0,3% для образцов с заменой 3%

**Таблица 1**

Влияние порошка корня *Taraxacum officinale* Wigg на свойства клейковины и амилолитическую активность пшеничной муки первого сорта

**Table 1**

Effect of *Taraxacum officinale* Wigg Root Powder on the Properties of Gluten and the Amylolytic Activity of First-Grade Wheat Flour

Наименование показателя	Контроль	Содержание порошка корня <i>Taraxacum officinale</i> Wigg, % взамен муки		
		1%	2%	3%
Содержание сырой клейковины, %	30,1 ± 0,5	30,8 ± 0,5	30,5 ± 0,5	29,8 ± 0,5
Качество клейковины, ед. приб. ИДК-3М	63,1 ± 0,5	66,7 ± 0,5	66,5 ± 0,5	63,0 ± 0,5
Влажность сырой клейковины, %	61,7 ± 0,1	69,4 ± 0,1	69,4 ± 0,1	68,7 ± 0,1
Содержание сухой клейковины, %	11,2 ± 0,1	10,2 ± 0,1	9,7 ± 0,1	9,6 ± 0,1
Число падения, с	304 ± 9	307 ± 12	312 ± 7	316 ± 3

муки, что вполне закономерно, в связи с отсутствием во вносимой добавке белков группы проламинов и глютелинов, которые вместе образуют клейковину. Однако при замене муки на исследуемый порошок в концентрациях 1% и 2% содержание сырой клейковины возрастало на 0,7% и 0,4%, соответственно. Показатель влажности сырой клейковины в среднем возрастал на 7,5% по отношению к контролю.

Индекс деформации сырой клейковины по показаниям прибора ИДК-3М при внесении исследуемой добавки возрастал по сравнению с контролем в среднем на 3,6%, что говорит о незначительном ослаблении клейковинного каркаса. Следует отметить, что значение показаний прибора ИДК-3М не выходило пределы, установленные требованиями ГОСТ 26574–2017<sup>19</sup> для пшеничной муки первого сорта.

Таблица 1 демонстрирует, что при внесении порошка корня одуванчика лекарственного наблюдалось снижение содержания сухой клейковины на 1,0–1,6% по отношению к контролю, что обусловлено отсутствием в исследуемой добавке клейковинных белков.

Важной характеристикой качества пшеничной муки, на которую исследовали влияние добавки, является показатель число падения. Данный показатель отображает значение активности амлолитических ферментов муки, которые оказывают

значительное влияние на длительность процесса тестоведения и качество готовых изделий. Согласно требованиям государственного стандарта на пшеничную муку (ГОСТ 26574–2017<sup>20</sup>) минимальное значение числа падения должно составлять 200 с. При более низком значении показателя наблюдается отрыв внешней корки от мякиша, хлеб приобретает солодовый запах и кисловатый вкус вследствие активного брожения, снижаются формоустойчивость и пористость изделий. Верхний предел числа падения не нормируется, однако значение показателя более 400 с негативно влияет на качество хлеба: снижаются высота подъема теста и объемный выход хлебобулочных изделий, поверхность хлеба имеет бледный окрас.

Согласно данным Таблицы 1 число падения муки при внесении порошка корня одуванчика лекарственного возрастало в среднем на 2,5% по сравнению с контрольным образцом.

### Реологические свойства пшеничного теста и водопоглощение муки

Важными характеристиками хлебопекарной муки являются ее водопоглощение и реологические свойства теста, которое она образует, поэтому изучали влияние порошка корня одуванчика лекарственного на указанные показатели. Результаты представлены в Таблице 2.

**Таблица 2**

Влияние порошка корня *Taraxacum officinale* Wigg на водопоглощение пшеничной муки первого сорта и реологические свойства теста

**Table 2**

Effect of *Taraxacum Officinale* Wigg Root Powder on the Water Absorption of First-Grade Wheat Flour and the Rheological Properties of the Dough

Наименование показателя	Контроль	Содержание порошка корня <i>Taraxacum officinale</i> Wigg взамен муки		
		1%	2%	3%
Водопоглощение, %	59,4 ± 0,2	58,6 ± 0,2	58,9 ± 0,2	58,6 ± 0,2
Время образования теста, мин	2,47 ± 0,10	2,39 ± 0,10	4,43 ± 0,10	2,25 ± 0,10
Устойчивость, мин	9,13 ± 0,10	9,42 ± 0,10	11,40 ± 0,10	13,28 ± 0,10
Степень разжижения через 12 мин после максимума, FE	60,0 ± 1,0	49,0 ± 1,0	49,0 ± 1,0	32,0 ± 1,0
Число качество фаринографа	97 ± 1,0	104 ± 1,0	122 ± 1,0	139 ± 1,0

<sup>19</sup> ГОСТ 26574–2017. (2018). Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия. М.: Стандартинформ.

<sup>20</sup> Там же

Водопоглощение муки зависит от помола, целостности крахмального зерна, прочности клейковинных белков, содержания пищевых волокон и других факторов (Zhang et al., 2020). В представленном исследовании водопоглощение муки незначительно снижалось при внесении порошка корня одуванчика лекарственного на 0,5–0,8% по отношению к контролю (Таблица 2). Вероятно, это связано с более крупным по сравнению с пшеничной мукой размером частиц вносимого порошка корня одуванчика лекарственного, вследствие чего поглощение воды частицами добавки при замесе теста происходило менее интенсивно.

Данные, представленные в Таблице 2, свидетельствуют о том, что добавление порошка корня *Taraxacum officinale* Wigg в пшеничную муку влечет за собой изменение всех реологических параметров тестовых полуфабрикатов: времени образования, устойчивости и степень разжижения.

Проведенные исследования показали, что замена пшеничной муки на порошок корня одуванчика в концентрациях 1% и 3% привела к незначительному снижению времени образования теста по сравнению с контрольным образцом на 0,08 и 0,22 мин, соответственно. При концентрации исследуемой добавки 2% время образования теста было выше на 1,96 минут по отношению к контролю.

По результатам исследования установлено, что частичная замена пшеничной муки на порошок корня одуванчика лекарственного приводит к повышению устойчивости теста при замесе (Таблица 2). Устойчивость теста является показателем прочности теста и характеризует его способность выдер-

живать перемешивание, сохраняя при этом максимальную консистенцию. Значительное увеличение данного показателя по сравнению с контролем было обнаружено при добавлении 2% и 3% добавки (на 24,9% и 45,5%, соответственно), в то время как при добавлении 1% добавки данный параметр увеличивался незначительно (на 3,2%).

Степень размягчения через 12 минут (по стандарту ICC) после начала замеса во всех опытных образцах была ниже, чем в контрольном, что свидетельствует об улучшении реологических свойств теста. Полученные результаты позволяют сделать вывод об укреплении структуры теста, вызванным порошком корня одуванчика лекарственного, что также подтверждается возрастанием значений числа качества фаринографа в среднем на 25,4% по сравнению с контролем (таблица 2). Увеличение времени образования теста и устойчивости наряду с уменьшением степени разжижения теста свидетельствует о муке с сильной клейковиной, которая способна образовывать тесто, устойчивое к изменению консистенции при замесе (Ungureanu-Iuga et al., 2021; Yang et al., 2024).

### Титруемая кислотность пшеничного теста в процессе брожения

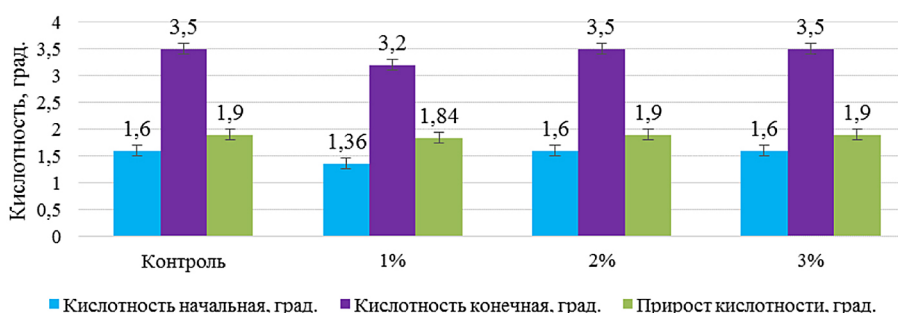
После замеса тестовые полуфабрикаты направляются на брожение. Основной технологический показатель, характеризующий свойства теста на данном этапе, — это титруемая кислотность. Изучали влияние порошка корня одуванчика лекарственного на данный показатель. Результаты представлены на Рисунке 2.

**Рисунок 2**

Влияние порошка корня *Taraxacum Officinale* Wigg на показатели качества тестовых полуфабрикатов

**Figure 2**

Effect of *Taraxacum Officinale* Wigg Root Powder on the Quality Indicators of Dough Semi-Finished Products



Как видно из данных Рисунка 2, добавка не оказала существенного влияния на кислотность тестовых полуфабрикатов, значения начальной и конечной кислотности были сопоставимы для всех образцов и соответствовали принятым нормам.

### Показатели качества хлебобулочных изделий

Далее проводили выпечку хлебобулочных изделий и оценивали их органолептические и физико-химические показатели качества. На Рисунках 3 и 4 представлены внешний вид и профилограмма ор-

ганолептических показателей готовых хлебобулочных изделий.

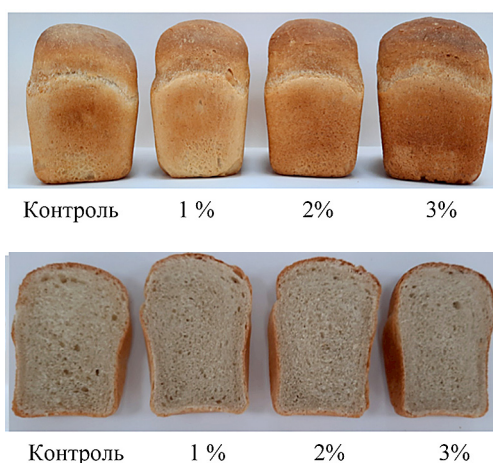
Органолептическая оценка изделий (Рисунки 3 и 4) показала, что замена пшеничной муки на порошок корня одуванчика лекарственного повлияла на сенсорные показатели качества готовой продукции. Хлебобулочным изделиям с добавлением 1%, 2% и 3% исследуемой добавки были присвоены сопоставимые с контрольным образцом баллы по показателям внешний вид и форма. По показателям окраска корок и форма самые высокие оценки получили контроль и опытные образцы с содержанием 1% порошка корня *Taraxacum officinale* Wigg, в то время как образцы с более высокими количествами добавки отличались сниженной гладкостью поверхности корок и характеризовались более темным цветом корок. Мякиш всех образцов хлеба был достаточно мягким, эластичным и не крошился.

**Рисунок 3**

Влияние порошка корня *Taraxacum officinale* Wigg на внешний вид и структуру пористости мякиша пшеничного хлеба

**Figure 3**

Effect of *Taraxacum Officinale* Wigg Root Powder on the Appearance and Porosity Structure of Wheat Bread Crumb

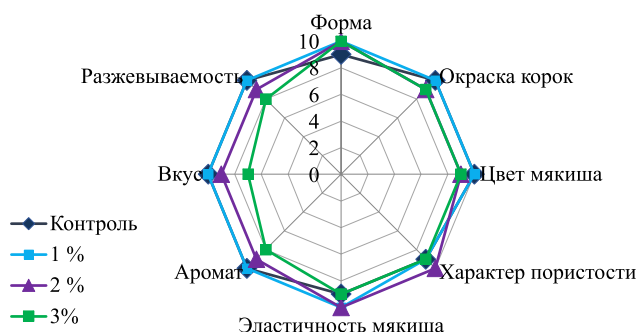


**Рисунок 4**

Влияние порошка корня *Taraxacum officinale* Wigg на профилограмму органолептических показателей готовых изделий

**Figure 4**

Effect of *Taraxacum Officinale* Wigg Root Powder on the Profile of Organoleptic Indicators of Finished Products



Опытные образцы наиболее сильно отличались от контроля по показателям вкус и аромат. При внесении 2% и 3% добавки отмечались характерный запах и горьковатое послевкусие. Наибольшую оценку получил образец с концентрацией добавки 1% (Рисунок 4). Низкая балльная оценка образцов с концентрацией порошка корня одуванчика лекарственного 3% обусловлена ухудшением вкуса, аромата, разжевываемости и цвета мякиша.

Замена пшеничной муки на порошок корня *Taraxacum officinale* Wigg оказала влияние на цвет хлебного мякиша. С увеличением процентного содержания исследуемой добавки параметр яркости  $L^*$  постепенно уменьшался, что указывает на потемнение мякиша; значение параметра  $a^*$  увеличивалось, а параметра  $b^*$  уменьшалось, указывая на увеличение доли красного цвета и уменьшение желтого цвета (таблица 3). Наибольшие различия в цвете мякиша наблюдались между контрольным образцом и образцом с добавлением 3% порошка корня одуванчика лекарственного.

С целью числового представления изменения цвета мякиша готовых изделий рассчитывали общую разницу в цвете ( $\Delta E_{ab}^*$ ) по формуле, представленной в работе Автора с соавт., 2023. Приняты следующие диапазоны значений данного показателя и их характеристики:  $\Delta E_{ab}^* \leq 1,0$  — человеческий глаз неспособен различить разницу в цвете;  $\Delta E_{ab}^* \leq 1-2$  — разницу в цвете можно определить только

при внимательном наблюдении;  $\Delta E_{ab}^* \leq 2-10$  — разница в цвете быстро определяется невооруженным глазом. В нашем исследовании критерий  $\Delta E_{ab}^*$  между мякишем контрольного хлеба и изделия с добавлением порошка корня одуванчика лекарственного варьировался от 0,5 (1%) до 5,9 (3%). Полученные результаты означают, что цвет мякиша хлебобулочных изделий с добавлением порошка корня одуванчика 3% значительно отличался от цвета мякиша контрольного образца изделий, при этом потребитель способен сразу определить разницу в цвете между изделиями без добавки и с добавкой в концентрации 3%, что обусловлено цветом вносимого в рецептуру порошка корня одуванчика лекарственного.

В Таблице 4 приведены результаты изучения физико-химических показателей готовых изделий.

Данные, представленные в Таблице 4, демонстрируют, что с увеличением количества добавки на-

блюдалось понижение влажности готовых изделий на 0,3–2,1%. При этом необходимо отметить, что воду в тесто вносили исходя из расчета с учетом влажности добавки. Снижение влажности готовых изделий можно объяснить более интенсивным испарением влаги из тестовых заготовок в процессе выпечки и из готовых изделий при остывании. Показатель кислотности контрольных и опытных образцов соответствовал требуемым нормам и не превышал 3,5 град.

Установлено, что показатель пористости опытных образцов был выше контроля на 0,8–3,1% (Таблица 4). Порошок корня одуванчика лекарственного также оказал положительное влияние на удельный объем хлеба. Внесение добавки способствовало увеличению данного показателя на 10,4–11,8% по сравнению с контролем. Кроме того, результаты исследований, представленных в Таблице 1, также показывают, что изучаемая добавка способствует расслаблению клейковины, что в свою очередь

**Таблица 3**

Влияние порошка корня *Taraxacum Officinale Wigg* на цветовые характеристики мякиша

**Table 3**

Effect of *Taraxacum Officinale Wigg* Root Powder on the Color Characteristics of the Crumb

Наименование показателя	Контроль	Содержание порошка корня <i>Taraxacum officinale Wigg</i> взамен муки		
		1%	2%	3%
<i>L</i>	53,58 ± 2,43	53,45 ± 3,74	52,78 ± 3,66	47,86 ± 2,83
<i>a</i>	1,8 ± 0,39	2,13 ± 0,2	2,18 ± 0,34	2,67 ± 0,22
<i>b</i>	15,91 ± 0,97	15,58 ± 0,86	15,41 ± 0,84	14,59 ± 0,82
$\Delta E$	0	0,5	1,0	5,9

**Таблица 4**

Влияние порошка корня *Taraxacum officinale Wigg* на физико-химические показатели хлебобулочных изделий

**Table 4**

Effect of *Taraxacum Officinale Wigg* Root Powder on the Physicochemical Properties of Bakery Products

Наименование показателя	Контроль	Содержание порошка корня <i>Taraxacum officinale Wigg</i> взамен муки		
		1%	2%	3%
Влажность, %	40,4 ± 0,1	40,1 ± 0,1	39,5 ± 0,1	38,3 ± 0,1
Кислотность, град.	3,0 ± 0,1	2,8 ± 0,1	3,0 ± 0,1	3,0 ± 0,1
Пористость, %	75,3 ± 0,1	76,1 ± 0,1	78,3 ± 0,1	78,4 ± 0,1
Удельный объем хлеба, см <sup>3</sup> /100 г	769,2 ± 10,7	858,4 ± 5,1	872,3 ± 6,8	859,1 ± 8,3

позволяет диоксиду углероду в большей степени растягивать тесто, увеличивая размер пор в мякише и объем готового хлеба.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В данном исследовании изучали возможность применения корня одуванчика лекарственного для производства функционального хлеба. Анализируя химический состав пшеничной муки первого сорта и порошка корня одуванчика (Рисунок 1), можно сделать вывод, что целесообразно применение указанного растительного сырья для повышения пищевой ценности хлебобулочных изделий из данной муки благодаря высокому содержанию в корне одуванчика сырой клетчатки и минеральных веществ.

Внесение порошка корня одуванчика лекарственного в муку в дозировках 1 % и 2 % приводило к повышению содержания сырой клейковины (Таблица 1), что связано с увеличением гидратационной способности клейковинных белков. Данная способность увеличивается под влиянием органических кислот, сахаров, пектиновых веществ и инулина, входящих в состав исследуемой добавки. Указанные вещества образуют с белками муки белково-полисахаридные комплексы, что приводит к изменению свойств клейковины (Корячкина с соавт., 2013). Увеличение содержания сырой клейковины за счет повышения ее гидратационной способности также подтверждается увеличением показателя влажности сырой клейковины. Установленное увеличение индекса деформации сырой клейковины обусловлено действием моносахаров и олигосахаридов, обнаруженных в корнях одуванчика лекарственного в количестве 7,8 % к массе сухого вещества (Тигунцева и соавт., 2012).

Увеличение числа падения муки при внесении порошка корня одуванчика лекарственного (Таблица 1) связано с действием инулина и других пищевых волокон исследуемого растительного сырья, которые повышают вязкость водно-мучной суспензии, тем самым увеличивая время опускания шток-мешалок в клейстеризованной суспензии и повышая показатель числа падения. Согласно литературным данным в корнях *Taraxacum officinale* Wigg, использованных в исследовании, содержание инулина составляет 436,29 мг/г (Savych et al., 2021).

При оценке реологических свойств теста было обнаружено, что внесение порошка корня одуванчика вызывало незначительное снижение водопоглощения муки, увеличение времени образования и устойчивости теста, а также увеличение степени разжижения теста (Таблица 2), что согласуется с результатами исследований авторов (Grażyna Casak-Pietrzak et al., 2021). Снижение водопоглощения муки может быть также обусловлено высоким содержанием в исследуемом корне пищевых волокон, в том числе инулина, для которого обнаружена схожая закономерность снижения водопоглощения пшеничной муки (Liu et al., 2022). Время образования теста — это продолжительность времени, в течение которого частицы муки набухают и образуют вязкую структуру теста требуемой консистенции. Сокращение продолжительности образования теста при концентрации порошка корня одуванчика 1 % и 3 % обусловлено уменьшением количества клейковины при внесении добавки. Кроме того, клетчатка и клейковинные белки взаимодействуют между собой, в результате чего снижается степень гидратации белка (Vartolomei et al., 2021). Увеличение времени образования теста при концентрации исследуемой добавки 2 %, вероятно, происходит в результате достижения такого соотношения между клетчаткой и клейковинными белками, которое способствует более длительному процессу набухания клейковинных белков до образования требуемой консистенции теста. Повышение устойчивости теста к замесу может быть связано с более интенсивным взаимодействием пищевых волокон корня одуванчика лекарственного с водой и белками в составе тестового полуфабриката во время замеса, что приводит к изменениям в крахмально-глютеиновой матрице полуфабриката и повышению устойчивости теста (Xu et al., 2021).

Готовые хлебобулочные изделия с внесением 2 % и 3 % добавки отличались от контрольных наличием посторонних вкуса и аромата (Рисунок 4), что связано с присутствием в корне *Taraxacum officinale* Wigg горьких веществ, например, сесквитерпеновых лактонов, тритерпеноидов и их гликозидов, фенольных кислот, флаваноидов и кумаринов (Fan, et al., 2023; Akhtar et al., 2023).

Внесение добавки в рецептуру хлебобулочных изделий способствовало увеличению показателей пористости и удельного объема (Таблица 4), что обусловлено наличием в составе порошка корня оду-

ванчика лекарственного простых сахаров, витаминов и минеральных веществ (Kania-Dobrowolska et al., 2022), необходимых хлебопекарным дрожжам для продуцирования диоксида углерода, который разрыхляет тесто и формирует пористость мякиша и объем готовых изделий.

Полученные нами результаты, с одной стороны, противоречат исследованиям Королев & Заворохина (2023), в которых в качестве оптимальной концентрации порошка корня одуванчика показана дозировка 5%. С другой стороны, наши исследования более согласуются с результатами исследований Grażyna Sacak-Pietrzak (2021). Авторы при разработке рецептуры хлеба установили, что из-за специфического запаха и горьковатого привкуса содержание исследуемой добавки не должно превышать 3 г на 100 г муки. Различия в полученных данных могут быть связаны с отличием в химическом составе используемых в исследованиях корней одуванчика лекарственного и другого сырья, которое необходимо для производства хлебобулочных изделий.

### Ограничения исследования

Представленные в настоящем исследовании результаты могут распространяться только на хлебобулочные изделия из пшеничной муки первого сорта приготовленных безопасным способом тестоведения по рецептуре для хлеба пшеничного из муки пшеничной первого сорта. Оценка качества готовых изделий проводилась только по физико-химическим и органолептическим показателям. В задачи исследования не входило изучение влияния добавки на химический состав и антиоксидантную активность хлебобулочных изделий.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью данного исследования являлось изучение возможности производства хлебобулочных изделий из пшеничной муки первого сорта с использованием корня одуванчика лекарственного. В результате проведения исследования установили, что исследуемый корень одуванчика лекарственного характеризовался более высоким содержанием клетчатки (в 3,8 раза) и общей золы (в 18 раз) по сравнению с пшеничной мукой первого сорта

и поэтому может служить обогащающей добавкой при производстве пшеничного хлеба. Изучение влияния исследуемой добавки на свойства муки показало, что при внесении порошка корня одуванчика лекарственного в муку индекс деформации клейковины по сравнению с контролем возрастал в среднем на 3,6%, водопоглощение муки незначительно снижалось на 0,5–0,8% по отношению к контролю. На основании исследований представляется возможным производство хлебобулочных изделий с использованием порошка корня одуванчика лекарственного в концентрации не более 2% взамен муки. Данная концентрация позволяет получить готовые изделия с приемлемыми вкусовыми качествами. Полученные данные, будут служить основой для дальнейших исследований по разработке технологии применения корней дикорастущих инулинсодержащих растений с целью производства функциональных хлебобулочных изделий.

### АВТОРСКИЙ ВКЛАД

**Мария Анатольевна Ахметзянова:** проведение исследования, создание черновика рукописи.

**Александр Васильевич Маслов:** методология, создание рукописи и ее редактирование.

**Замира Шамиловна Мингалеева:** руководство исследованием, редактирование рукописи.

### AUTHOR CONTRIBUTIONS

**Maria A. Akhmetzyanova:** investigation; writing - original draft preparation.

**Alexander V. Maslov:** methodology; writing - review and editing.

**Zamira Sh. Mingaleeva:** supervision; writing - review and editing.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Васильев, А.С., Чумакова, Е.Н., & Фаринюк, Ю.Т. (2019). Формирование показателей качества пшеничного хлеба при добавлении порошка топинамбура. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, 5(146), 174–181.
- Vasilyev, A.S., Chumakova, E.N., & Farinyuk, Yu.T. (2019). The formation of wheat bread quality indicators by adding jerusalem artichoke powder. *The Bulletin of KrasGAU*, 5(146), 174–181. (In Russ)
- Гумеров, Т.Ю., Усманова, А.Р., Мингалеева, З.Ш., & Тарасова, Е.Ю. (2022). Изучение показателей безопасности зернового продукта «злаковый батончик». *Пищевые системы*, 5(1), 14–22. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-14-22>
- Gumerov, T. Yu., Usmanova, A. R. Mingaleeva, Z. Sh., & Tarasova, E. Yu. (2022). Study of safety indicators of the cereal product «cereal bar». *Food systems*, 5(1), 14–22. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-1-14-22> (In Russ)
- Дьякова, Н.А., Мындра, А.А., Шушунова, Т.Г., & Великанова, Л.А. (2016). Одуванчик лекарственный-перспективный источник инулина. *Сельскохозяйственный журнал*, 1(9), 388–391.
- Dyakova, N.A., Myndra, A.A., Shushunova, T.G., & Velikanova, L.A. (2016). *Taraxacum officinale* is the perspective source of inulin. *Agricultural Journal*, 1(9), 388–391. (In Russ)
- Евстафьев, С. Н., & Тигунцева, Н. П. (2014). Биологически активные вещества одуванчика лекарственного *Taraxacum officinale* Wigg (Обзор). *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*, 1(6), 18–29.
- Evstafev, S.N., & Tiguntseva, N.P. (2014). Biologically active substances of dandelion *Taraxacum officinale* Wigg. (Review). *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya*, 1(6), 18–29. (In Russ)
- Кайшев, В.Г., Лукин, Н.Д., Серегин, С.Н., & Корниенко, А.В. (2018). Рынок инулина в России: возможности развития сырьевой базы и необходимые ресурсы для создания современного отечественного производства. *Пищевая промышленность*, (5), 8–17.
- Kaishev, V. G., Lukin, N. D., Seregin S. N., & Kornienko, A. V. (2018). Inulin market in Russia: Possibilities of raw materials base development and necessary resources for creation of modern domestic production. *Food Industry*, (5), 8–17. (In Russ)
- Королев, А.П. Феофилактова, О.В., Заворохина, Н.В., & Тарасов, А.В. (2023). Использование корня одуванчика лекарственного в технологии хлеба функционального назначения. *Новые технологии*, 4(19), 103–110. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2023-19-4-103-110>
- Korolev, A.P. Feofilaktova, O.V., Zavorokhina, N.V., & Tarasov, A.V. (2023). The role of the medicinal product in the technology of bread functional name. *New Technologies*, 4(19), 103–110. (In Russ) <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2023-19-4-103-110>
- Корячкина, С.Я., & Сажина, В.Н. (2013). Совершенствование технологии бубликов. *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*, 2(19), 33–36.
- Koryachkina, S.YA., & Sajina, V.N. (2013). Improving technology of bagels. *Technology and merchandising of the innovative foodstuff*, 2(19), 33–36. (In Russ)
- Маслов, А.В., Мингалеева, З.Ш., Ямашев, Т.А., & Старовойтова, О.В. (2023). Влияние комплексной добавки на цветовые характеристики пшеничного и ржано-пшеничного хлеба. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, 4(393), 45–51. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2023.4.8>
- Maslov, A.V., Mingaleeva, Z.Sh., Yamashev T.A., & Starovoitova, O.V. (2023). The effect of the complex additive on the color of wheat and rye-wheat bread. *News of Universities. Food Technology*, 4(393), 45–51. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2023.4.8>. (In Russ)
- Оробинская, В.Н. (2016). Использование инулинсодержащих растений в качестве источника биологически активных соединений антиоксидантного действия. *Современная наука и инновации*, 2(14), 87–94.
- Orobinskaya, V.N. (2016). The use of inulin-containing plants as a source of biologically active compounds of antioxidant activity. *Modern Science and Innovations*, 2(14), 87–94. (In Russ)
- Тертычная, Т.Н., Мажулина, И.В., & Яковлева, С.Ф. (2020). Новые рецептуры пряников диабетического назначения. *Актуальная биотехнология*, 3(34), 17–19.
- Tertychnaya, T. N., Mazhulina, I. V., & Yakovleva, S. F. (2020). New recipes for diabetic gingerbread. *Current Biotechnology*, 3(34), 17–19. (In Russ)
- Тигунцева, Н.П., & Евстафьев, С.Н. (2012). Состав низкомолекулярных водорастворимых соединений одуванчика лекарственного *Taraxacum officinale* Wigg. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*, 2(3), 27–29.
- Tiguntseva, N.P., & Evstafev, S.N. (2012). Low-molecular water-soluble compounds of the dandelion medicinal *Taraxacum officinale* Wigg. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya*, 2(3), 27–29.
- Akhtar, U., Wankhade, A. M., Vyas, J. V., & Paithankar, V. V. (2023). A review on: Phytoconstituents, traditional and medicinal uses of *Taraxacum officinale* (Dandelion). *Research Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 15(2), 139–144. <https://doi.org/10.52711/0975-4385.2023.00021>
- Cacak-Pietrzak, G., Dziki, D., Gawlik-Dziki, U., Sulek, A., Kalisz, S., & Sujka, K. (2021). Effect of the addition of dried dandelion roots (*Taraxacum officinale* FH Wigg.) on wheat dough and bread properties. *Molecules*, 26(24), 7564. <https://doi.org/10.3390/molecules26247564>
- Fan, M., Zhang, X., Song, H., & Zhang, Y. (2023). Dandelion (*Taraxacum* Genus): A review of chemical constituents

- and pharmacological effects. *Molecules*, 28(13), 5022. <https://doi.org/10.3390/molecules28135022>
- Kania-Dobrowolska, M., & Baraniak, J. (2022). Dandelion (*Taraxacum officinale* L.) as a source of biologically active compounds supporting the therapy of co-existing diseases in metabolic syndrome. *Foods*, 11(18), 2858. <https://doi.org/10.3390/foods11182858>
- Korbášová, M., Tomenendálová, J., & Chloupek, J. (2022). Anti-tumour effect of combinations of three acids isolated from *Taraxacum officinale*. *Acta Veterinaria Brno*, 91(1), 77–85. <https://doi.org/10.2754/avb202291010077>
- Li, J., Luo, J., Chai, Y., Guo, Y., Tianzhi, Y., & Bao, Y. (2021). Hypoglycemic effect of *Taraxacum officinale* root extract and its synergism with *Radix Astragali* extract. *Food Science & Nutrition*, 9(4), 2075–2085. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2176>
- Liu, Y., Leng, Y., Xiao, S., Zhang, Y., Ding, W., Ding, B., ... & Fu, Y. (2022). Effect of inulin with different degrees of polymerization on dough rheology, gelatinization, texture and protein composition properties of extruded flour products. *LWT*, 159(1), 113225. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113225>
- Maslov, A. V., Mingaleeva, Z. S., Yamashev, T. A., & Starovoitova, O. V. (2023). Effects of a plant-based additive on the properties of flour and dough during fermentation. *Food Processing: Techniques and Technology*, 53(2), 347–356. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2439>
- Paura, B., & Di Marzio, P. (2022). Making a virtue of necessity: The use of wild edible plant species (*Also Toxic*) in bread making in times of famine according to Giovanni Targioni Tozzetti (1766). *Biology*, 11(2), 285. <https://doi.org/10.3390/biology11020285>
- Rao, M., Gao, C., Xu, L., Jiang, L., Zhu, J., Chen, G., ... & Xu, Y. (2019). Effect of inulin-type carbohydrates on insulin resistance in patients with type 2 diabetes and obesity: A systematic review and meta-analysis. *Journal of diabetes research*, (1), 5101423. <https://doi.org/10.1155/2019/5101423>
- Savych, A., Bilyk, O., Vaschuk, V., & Humeniuk, I. (2021). Analysis of inulin and fructans in *Taraxacum officinale* L. roots as the main inulin-containing component of antidiabetic herbal mixture. *Pharmacia* 68(3), 0428–0296. <https://doi.org/10.3897/pharmacia.68.e66266>
- Sharma, M., Pal, P., Pottoo, F., & Kumar, S. (2023). Mechanistic role of methanolic extract of *Taraxacum officinale* Roots as cardioprotective against ischemia–reperfusion injury-induced myocardial infarction in rats. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 195(5), 3384–3405. <https://doi.org/10.1007/s12010-022-04282-z>
- Türkmen, B. M., Teyin, G., Lokman, U., & Memis Kocaman, E. (2023). Functional effects of dandelion (*taraxacum officinale*) and its use in the traditional cuisines. *Journal of Culinary Science & Technology*, 22(6), 1387–1408. <https://doi.org/10.1080/15428052.2022.2163733>
- Ungureanu-Iuga, M., Atudorei, D., Codină, G.G., & Mironeasa, S. (2021). Rheological approaches of wheat flour dough enriched with germinated soybean and lentil. *Applied Sciences*, 11(24), 11706. <https://doi.org/10.3390/app112411706>
- Vartolomei, N., & Turtoi, M. (2021). The influence of the addition of rosehip powder to wheat flour on the dough farinographic properties and bread physico-chemical characteristics. *Applied Sciences*, 11(24), 12035. <https://doi.org/10.3390/app112412035>
- Vural, A. (2024). Trace element accumulation behavior, ability, and propensity of *Taraxacum officinale* FH Wigg (*Dandelion*). *Environmental Science and Pollution Research*, 31(11), 16667–16684. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-32293-2>
- Wu, J. (2021). Antibacterial activity of *Taraxacum officinale* against foodborne pathogens. *Pakistan Journal of Zoology*, 54, 1–8. <https://dx.doi.org/10.17582/journal.pjz/20201108141125>
- Xu, J., Li, Y., Zhao, Y., Wang, D., & Wang, W. (2021). Influence of antioxidant dietary fiber on dough properties and bread qualities: A review. *Journal of Functional Foods*, 80, 104434. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104434>
- Yang, Y., Zhang, C., Ma, C. M., Hu, L. S., Bian, X., Wang, B., & Zhang, N. (2024). Impact of soybean protein isolate on gluten-free bread: A comprehensive study of physicochemical properties of gluten-free dough and bread matrix properties. *International Journal of Food Science & Technology*, 59(1), 251–264. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16799>
- Zhang, A. (2020). Effect of wheat flour with different quality in the process of making flour products. *International Journal of Metrology and Quality Engineering*, 11, 6. <https://doi.org/10.1051/ijmqe/2020005>
- Zheng, Y., Lei, L., Liang, S., Ai, J., Deng, X., Li, Y. Q., ... & Ren, Y. S. (2022). Protective effect of fresh/dry dandelion extracts on APAP-overdose-induced acute liver injury. *Chinese journal of integrative medicine*, 28(8), 683–692. <https://doi.org/10.1007/s11655-021-3295-8>

# Обоснование композиции цитрусовых волокон и гуаровой камеди для стабилизации структуры замороженных десертов

ВНИХИ – филиал ФГБНУ  
«ФНЦ пищевых систем  
им В.М. Горбатова» РАН, Москва,  
Российская Федерация

П. Б. Ситникова, А. А. Творогова

## КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Полина Борисовна Ситникова  
E-mail: p.sitnikova@fncps.ru

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Ситникова, П.Б., & Творогова, А.А.  
(2024). Обоснование композиции цитрусовых волокон и гуаровой камеди для стабилизации структуры замороженных десертов. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(4), 119-132. <https://doi.org/10.36107/spfr.2024.4.529>

ПОСТУПИЛА: 06.06.2024

ДОРАБОТАНА: 13.12.2024

ПРИНЯТА: 16.12.2024

ОПУБЛИКОВАНА: 27.12.2024

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ:

статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию FGUS-2022-0013 ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН



## АННОТАЦИЯ

**Введение:** Замороженные фруктовые десерты, изготавливаемые на предприятиях отрасли мороженого, характеризуются невысоким содержанием сухих веществ (29–30 %) и отсутствием молочной основы. Это приводит к формированию излишне плотной консистенции и органолептически ощутимых кристаллов льда. Поиск эффективных стабилизаторов для улучшения этих показателей является важной технологической задачей в производстве замороженных взбитых десертов.

**Цель:** Установить влияние цитрусовых волокон на структуру и консистенцию замороженных взбитых фруктовых десертов при их использовании в качестве моностабилизатора и в композиции с гуаровой камедью.

**Методы:** Использованы реологические, микроструктурные и термостатические методы исследований. В качестве контроля использовали десерты с традиционно применяемым стабилизатором желатином.

**Результаты:** Установлено, что использование цитрусовых волокон в качестве моностабилизатора в таком же количестве, как и желатин (0,5 %) не приводит к достижению необходимого уровня динамической вязкости (не менее 125 мПа·с при градиенте сдвига на срез 0,83 с<sup>-1</sup>). В образце с волокнами и гуаровой камедью значение этого показателя составляло более 280 мПа·с. Увеличение количества волокон до уровня 1 % не привело к заметному повышению вязкости, но способствовало появлению излишне горького вкуса. Однако по термо-формоустойчивости образцы десертов с желатином и цитрусовыми волокнами значительно не отличались. В процессе замораживания образцы с волокнами по дисперсности кристаллов льда несколько уступали контрольному образцу, но после непродолжительного хранения (1,5 мес.) размер кристаллов льда во всех образцах составлял 43–47 мкм. За указанный период хранения дисперсность кристаллов льда в наименьшей степени снизилась в образцах с волокнами. По дисперсности воздушной фазы образцы с цитрусовыми волокнами уступали контрольному образцу с желатином – белком с пенообразующей способностью.

**Выводы:** Результаты исследований показали, что в производстве замороженных десертов целесообразно использовать цитрусовые волокна в композиции с гуаровой камедью в соотношении 3:2. Для дальнейших исследований интерес представляет обоснование эффективных композиций цитрусовых волокон с другими гидроколлоидами или белками.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

структура десерта, консистенция десерта, кристаллы льда, воздушные пузырьки, взбитые замороженные фруктовые десерты, вязкость смеси

# Rationale for the Composition of Citrus Fibers and Guar Gum for Stabilizing the Structure of Frozen Desserts

All-Russian Scientific Research Institute  
of Refrigeration Industry, Moscow, Russia

Polina B. Sitnikova, Antonina A. Tvorogova

## CORRESPONDENCE:

Polina B. Sitnikova,

E-mail: p.sitnikova@fncps.ru

## FOR CITATIONS:

Sitnikova, P.B., & Tvorogova, A.A. (2024). Rationale for the composition of citrus fibers and guar gum for stabilizing the structure of frozen desserts. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(4), 119-132. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.4.529>

RECEIVED: 06.06.2024

REVISED: 13.12.2024

ACCEPTED: 16.12.2024

PUBLISHED: 27.12.2024

## DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.

## FUNDING:

The article is prepared as part of the research under the state assignment of V.M. Gorbатов Federal State Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences



## ABSTRACT

**Introduction:** Frozen fruit desserts being produced at the ice cream production enterprises are characterized by a low-level content of dry solids (29-39%) and the absence of milk base. This leads to the formation of an excessively dense consistency and organoleptically perceptible ice crystals. The search for effective stabilizers for improving these parameters is an important technological task for the production of frozen whipped desserts

**Purpose:** To determine how citrus fibers affect the structure and texture of frozen whipped fruit desserts, both when used alone as a monostabilizer and in the composition with guar gum.

**Materials and Methods:** The rheological, microstructural and thermostatic research methods were used. Desserts that utilized the traditional gelatin stabilizer served as the control.

**Results:** It has been established that the use of citrus fibers as monostabilizer in the same quantity as gelatin (0,5%) does not achieve the necessary level of dynamic viscosity (not less than 125 mPa·s with a shear gradient of 0,83 c-1). In the sample with fibers and guar gum the value of this indicator was more than 280 mPa·s. Raising the fiber content to 1% did not significantly enhance viscosity, but it did result in a pronounced bitter flavor. However the samples of desserts with gelatin and citrus fibers did not differ significantly in terms of thermal and shape stability. During freezing the samples with fibers were slightly inferior in dispersion of ice crystals to the control sample but after a short storage (1,5 months) the size of ice crystals in all samples was 43-47 μm. The dispersion of ice crystals during the specified period of storage decreased in the samples with fibers to the least degree. The samples with citrus fibers in terms of air phase were inferior to the control sample with gelatin – the protein with the foam creating ability

**Conclusion:** The research results have shown that in the production of frozen desserts it is advisable to use citrus fibers in a composition with guar gum in a ratio of 3:2. For future research, it is relevant to validate the efficacy of citrus fiber compositions with other hydrocolloids or proteins

## KEYWORDS

dessert structure; dessert consistency; ice crystals; air bubbles; whipped frozen fruit desserts; viscosity of the mixture

## ВВЕДЕНИЕ

Взбитые замороженные фруктовые десерты не содержат молочной основы, характеризуются невысоким содержанием сухих веществ (30–32%), что приводит к формированию органолептически ощутимых кристаллов льда<sup>1</sup> (Творогова и соавт., 2013). Во взбитых замороженных фруктовых десертах, в отличие от мороженого, отсутствует жировая фаза, способствующая формированию каркаса и поддерживающая структуру продукта, отсутствуют белковые компоненты, способствующие формированию более мелких пузырьков воздуха, за счёт пенообразующей способности. Известно, что в десертах формируются в 1,5–4,4 раза более крупные воздушные пузырьки и в 1,3–2,2 раза более крупные кристаллы льда, чем в молочном мороженом (Goff, 2016; Patel, 2006; Sitnikova & Tvorogova, 2019). Применение гидроколлоидов может способствовать улучшению стабильности структуры продукта за счёт снижения размеров кристаллов льда в процессе формирования структуры продукта (Cartagena, 2024; Da Silva Costa, 2020).

Гуаровая камедь является наиболее распространённым гидроколлоидом, применяющимся не только в технологии мороженого, но и во взбитых замороженных фруктовых десертах. При использовании гуаровой камеди формируется структура с мелкими кристаллами льда, повышается устойчивость продукта к температурным колебаниям (Yang 2020).

В связи с этим актуальным вопросом является совершенствование структуры взбитых замороженных фруктовых десертов. С этой целью рационально использовать дополнительно к гидроколлоидам ингредиенты с высокой влагоудерживающей способностью. К ним относятся и пищевые волокна. Ранее во ВНИИ (Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности — филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им В.М. Горбатова» РАН) уже проводили исследования возможности применения в технологии мороженого пищевых волокон, получаемых из целлюлозы. Результаты исследований, представленные в статьях (Творогова & Коновалова, 2016; Творогова & Ситникова, 2014, Soukoulis, 2016, Xavier, 2022), показывают заметное снижение дисперсности кри-

сталлов льда в процессе хранения готового продукта. Причиной порока является иницирование кристаллизации воды нерастворимыми частицами волокон.

Наибольшей степенью растворения в воде характеризуются цитрусовые волокна, активным нутриентом которых является пектин (Голубева, 2015). Их получают из отходов цитрусовых культур путем экстрагирования. Исследования показали, что цитрусовой клетчатке свойственна способность к набуханию и удерживанию воды. Кроме того, в результате исследований выявлены физиологические функциональные свойства цитрусовых волокон (Jiang, 2022). Цитрусовое волокно обладает высокой влагоудерживающей способностью, эмульгирующими, стабилизирующими и структурообразующими свойствами, гипоаллергенно и не содержит глютен. Оно не является пищевой добавкой, поэтому не входит в перечень ингредиентов с индексом «Е» (Есимова, 2020).

Благодаря хорошим свойствам цитрусовых волокон, как гидроколлоидов, их можно использовать в качестве загустителей, стабилизаторов, влагоудерживающих агентов во многих продуктах питания: в йогуртах, соусах, напитках, мясных, кондитерских и хлебобулочных изделиях (Bonarius, 2014; Grigelmo-Miguel, 1998; Sendra, 2010; Su, 2020; Kieserling, 2019). Цитрусовые волокна целесообразно использовать в производстве пищевой продукции, предусматривающей процесс гомогенизации. Применение физических методов обработки, в частности высокого давления при гомогенизации, приводит к увеличению водосвязывающей способности волокон и вязкости их растворов (Su, 2019).

Результаты исследования влияния цитрусовых волокон на физические, химические и органолептические свойства молочного мороженого с массовой долей жира 7% показывают положительное влияние на термоустойчивость мороженого. Цитрусовые волокна вносили в количестве 0,4%, 0,8% и 1,2%. Установлено, что цитрусовые волокна в отсутствие традиционно применяемых стабилизаторов не выполняют их технологически значимую роль, не приводят к достижению характерного для смесей уровня вязкости. И, как следовало ожидать,

<sup>1</sup> Чижова, П.Б. (2013) Разработать технологию замороженных фруктовых десертов с молочными продуктами: автореф... дис. кан. техн. наук. Москва.

смесь характеризовалась низкой способностью к насыщению воздухом, а мороженое — плотной консистенцией и структурой с ощутимыми кристаллами льда (Ландиховская, 2021). Добавление цитрусовых волокон вызывает повышение титруемой кислотности молочного мороженого с массовой долей жира 6 %, улучшает показатели твёрдости, вязкости и устойчивости к таянию, но не позволяет достичь высоких органолептических показателей (Akalin, 2018).

Пищевые апельсиновые волокна «Citri-Fi» повышают пищевую ценность мягкого молочного мороженого с пищевыми волокнами «Citri-Fi» и сиропом сахарного сорго<sup>2</sup>, улучшают консистенцию и позволяют увеличить взбитость продукта (Голубева, 2015; 2019). Применение апельсинового волокна в количестве 1 % приводит к повышению твердости и липкости молочного лимонного мороженого с массовой долей жира 4 %, но не влияет на его клейкость (Grizel, 2014). Введение цитрусовых волокон в количестве 0,3, 0,5 и 1 % в состав замороженного десерта, состоящего из аквафабы лимской фасоли, кокосового молока, фиолетового сладкого картофеля и цитрусовых волокон, улучшает структуру продукта, снижает его твёрдость. С увеличением массовой доли волокон улучшается устойчивость образцов к таянию (Trinh, 2021).

Использование цитрусовых волокон в количестве 0,7 % в сочетании с 0,3 % полисахаридов (исключая крахмалопродукты) улучшает структуру и потребительские свойства замороженных кислородсодержащих десертов. Установлено положительное влияние разработанной композиции на устойчивость пены и образцов к таянию. Отмечено, что введение волокон приводит к снижению показателя «активность воды» в замороженных кислородсодержащих десертах (Грошева, 2014; Неповинных, 2015). Установлено положительное влияние применения цитрусовых волокон в комбинации с гуаровой камедью, отмечено, что в молочном мороженом с массовой долей жира 2,5 % с пищевым волокном и гуаровой камедью показатель термоустойчивости продукта выше, чем в образцах только с пищевым волокном и комби-

нацией пищевого волокна и ксантановой камеди (Ландиховская & Творогова, 2023).

Применение пищевых волокон, в частности цитрусовых, изучено лишь в производстве мороженого — продукте на молочной основе. Представленные выше данные о применении цитрусового волокна в технологии взбитых замороженных десертов эпизодичны и неоднозначны. Учитывая незначительное количество данных о влиянии цитрусовых волокон на консистенцию и структуру взбитых замороженных десертов, не содержащих молочной основы определена цель исследований.

Цель текущего исследования: установление влияния цитрусовых волокон на структуру и консистенцию замороженных взбитых фруктовых десертов при их использовании в качестве моностабилизатора и в композиции с гуаровой камедью.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Объекты

В качестве объектов исследования были выбраны образцы взбитых замороженных фруктовых десертов, выработанных на основе яблочного пюре, в качестве компонентов для формирования структуры продукта использовали: желатин (в контрольном образце), цитрусовые волокна «Cetri-Fi» и композицию цитрусового волокна с гуаровой камедью.

### Методы

Исследование дисперсности кристаллов льда и воздушных пузырьков проводили с использованием микроскопа CX41RF (OLYMPUS, Япония) и термостолика PE-120 (LinkamInstruments, Великобритания). Полученные микрофотографии обрабатывали с применением программы ImageScopeM (СМА, Россия), определяли размер не менее 500 структурных элементов (Творогова & Чижова, 2013).

<sup>2</sup> Пат. 2546220 С1 Российская Федерация, МПК А23G 9/00 Мягкое молочное мороженое с сиропом сахарного сорго/ Голубева Л.В., Пожидаева Е.А., Журавлева О.В., заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Воронежский государственный университет инженерных технологий (ФГБОУ ВПО ВГУИТ). — № 2013150432/13, заявл. 12.11.2013, опубл. 10.04.2015, Бюл. 10. — 6 с.

Взбитость определяли по ГОСТ 31457–2002 «Мороженое молочное, сливочное и пломбир. Технические условия».

Динамическую вязкость смесей исследовали на реовискозиметре DV2+PRO с программным обеспечением Rheocalc V3 1–1 (BrookField, США) при постоянной температуре ( $4 \pm 1$ ) °C и скорости вращения шпинделя  $0,83 \text{ c}^{-1}$ , использовали шпиндель SC4–31 и кюветы объемом  $10 \text{ cm}^3$  (Творогова & Шобанова 2022).

Метод определения устойчивости образцов к таянию основан на определении массовых долей плава мороженого, образующегося за определенный промежуток времени при воздействии температуры ( $20 \pm 0,5$ ) °C (Гурский 2022; Ситникова 2018). Исследование проводят с применением термостата с жидкостным охлаждением для поддержания температуры марки TC-1/80 СПУ и весы лабораторные с точностью определения массы  $\pm 0,1 \text{ г}$ . Исследования проводили не менее чем в 2-х повторностях.

Метод исследования формоустойчивости мороженого базируется на оценке способности взбитых замороженных десертов сохранять форму порции под воздействием положительных температур. Изложен в Методике определения формоустойчивости мороженого и взбитых замороженных десертов по площади растекания плава, утвержденной во ВНИИХИ (Ситникова 2018). Исследования проводили с использованием термостата TC-1/80 СПУ и цифрового фотоаппарата. В термостате поддерживали температуру ( $20 \pm 0,5$ ) °C.

## Процедура исследования

В ходе исследований было выработано 3 образца взбитых замороженных десертов: (1) — с желатином (контроль), (2) — с цитрусовыми волокнами, (3) — с цитрусовым волокном и гуаровой камедью.

Десерты изготавливали по следующей схеме: смешивание сырьевых компонентов, пастеризация смеси в ванне для пастеризации при температуре ( $82 \pm 1$ ) °C, затем ее охлаждение до температуры  $4 \pm 2$  °C и фризирование во фризере CARPIGIANI labo 8 12 E до достижения температуры минус 5 — минус 6 °C, выдерживание мягкого десерта в морозильном ларе при температуре минус 30 °C до до-

стижения температуры внутри порции не выше минус 18 °C и хранение готового продукта при температуре минус 20 °C.

Исследование динамической вязкости проводили в смеси для десертов после охлаждения до температуры  $4 \pm 2$  °C; взбитость определяли в десертах в процессе фризирования при достижении температуры продукта минус 5–6 °C.

В десертах после закаливания и через 1,5 месяца хранения при температуре минус ( $18 \pm 1$ ) °C определяли дисперсности кристаллов льда и воздушных пузырьков. Также в десертах после закаливания определяли устойчивость к таянию и формоустойчивость.

## Верификация данных

Все исследования проводили не менее чем в 3-х кратной повторности.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Во взбитых замороженных фруктовых десертах, изготавливаемых по технологии мороженого, отсутствуют жир и сухой обезжиренный молочный остаток, поэтому на формирование структуры основное влияние оказывают стабилизаторы. Функциональная роль стабилизаторов заключается во взаимодействии с водой, что приводит к увеличению вязкости смеси и при замораживании в условиях фризирования к формированию в продукте стабильной кристаллической решетки.

### Исследование динамической вязкости и способности смеси для десертов к насыщению воздухом

Все опытные образцы (Таблица 1) характеризовались одинаковой массовой долей общих сухих веществ, фруктов, сахаров, стабилизаторов, но отличались их составом. При исследовании динамической вязкости смеси было установлено, что этот показатель в образцах 1 и 2 был ниже более чем в 10 раз по сравнению с контрольным образцом (3). А в образце 2 способность к насыщению воздухом, определяемая по показателю «взбитость»,

**Таблица 1**

Характеристика готового продукта, вязкость, взбитость

**Table 1**

*Characteristics of the Final Product: Viscosity and Overrun*

Наименование	Образец		
	1	2	3
Массовая доля сухих веществ, % в т.ч.	28,0	28,0	28,0
Фруктов, %	1,5	1,5	1,5
Сахарозы, %	26,5	26,5	26,5
Желатина, %	0,5	–	–
Цитрусовых волокон, %	–	0,5	0,3
Гуаровой камеди, %	–	–	0,2
Взбитость, %	83	28	73
Вязкость при скорости сдвига на срез 0,83 с <sup>-1</sup>	22 ± 2	23 ± 3	286 ± 5

была в 2,6–2,9 раза ниже, чем в остальных образцах фруктовых десертов.

Было установлено, что требуемый уровень вязкости в смеси для фруктовых десертов (125–1000 мПа·с при градиенте сдвига на срез 0,83 с<sup>-1</sup>, база данных ВНИХИ) при использовании цитрусовых волокон композиции цитрусовых волокон в качестве моностабилизатора не достигается (Рисунок 1). В связи с этим целью исследований на следующей стадии исследований стало выяснение влияния бо-

лее высокого количества (до 1%) волокон на динамическую вязкость смесей для десертов. Результаты представлены на Рисунке 1.

Исследования показали, что при увеличении содержания волокон в смеси для десертов до 1% в значение динамической вязкости не достигло даже минимального технологически необходимого значения (125 мПа·с). При массовой доле цитрусовых волокон до 1% при органолептической оценке отмечено улучшение консистенции, стала более эластичной. При этом в десертах обнаружен неприятный горький привкус. На этом основании увеличение массовой доли цитрусовых волокон выше 0,5% признано нецелесообразным.

### Исследование термостатических показателей десертов

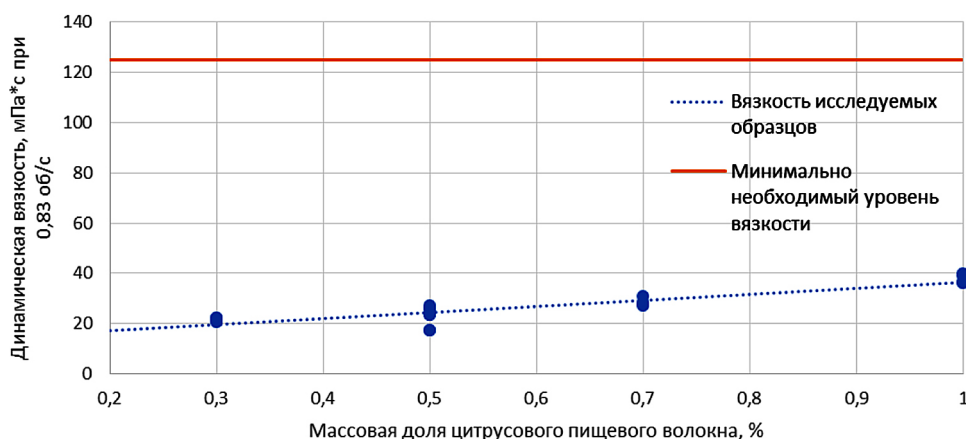
Самым уязвимым показателем фруктовых десертов, как известно является их низкая термо- и формоустойчивость (Творогова, 2021; Goff, 2013; Malgor, 2020; Palka, 2023). При исследовании термостойкости установлено, что массовые доли плава в образцах 2 и контрольном на протяжении всего периода выдерживания заметно не отличаются (всего на 1–6%) (Рисунки 2–4). В образце 3 по сравнению с контрольным массовой долей плава в процессе выдерживания была больше на 6–29%. Через 90 минут термостатирования массовая доля плава

**Рисунок 1**

Влияние массовой доли цитрусового пищевого волокна на вязкость смеси для десертов

**Figure 1**

Effect of Citrus Dietary Fiber Mass Fraction on the Viscosity of Dessert Mixes



в образцах по сравнению с контрольным образцом была больше — в образце 2 на 6%, в образце 3 на 23%. Различия в термоустойчивости обусловлены не только отличиями стабилизаторов образцов по влагоудерживающей способности, но и по взбитости. Сравнительно высокая термоустойчивость образца 2 объясняется низким уровнем взбитости (23%).

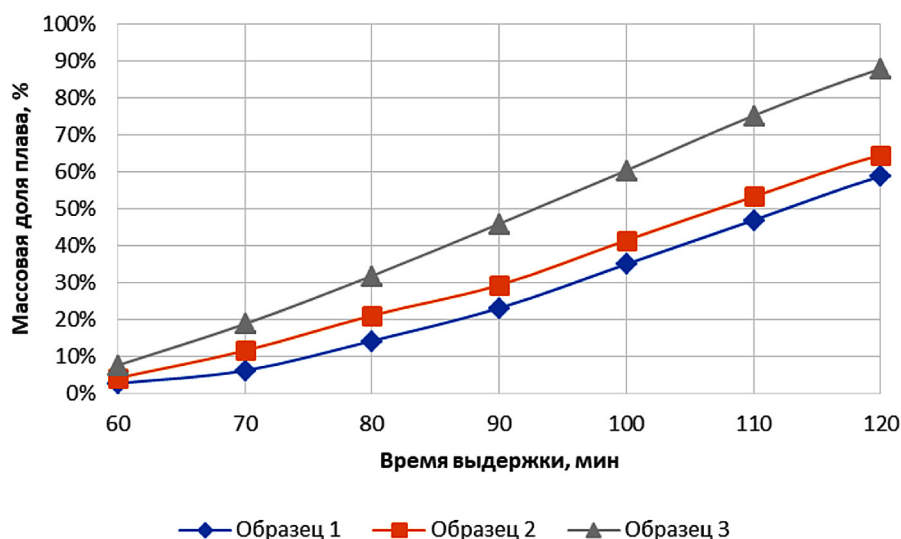
Данные, приведенные на Рисунке 3, позволяют провести сравнительный анализ динамики процесса таяния образцов в различные периоды выдерживания. Максимальная скорость таяния десертов и период ее достижения составили для образцов: 1–1,2 %/мин от 90 до 120 мин., 2–1,2 %/мин от 90 до 110 мин, 3–1,4 %/мин через 80 мин исследования. Полученные данные по термоустойчивости показали наилучшие значения этого показателя

**Рисунок 2**

Устойчивость образцов десертов к таянию

**Figure 2**

Resistance of Dessert Samples to Melting

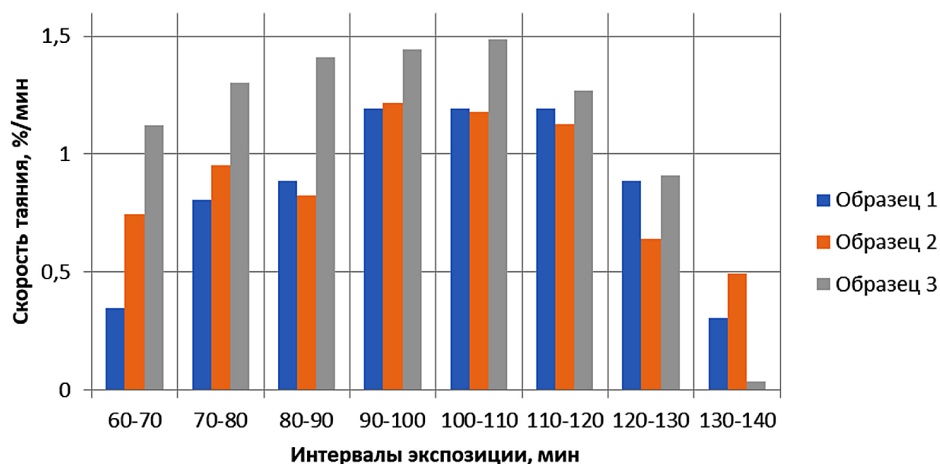


**Рисунок 3**

Динамика скорости таяния

**Figure 3**

Dynamics of Melting Rate

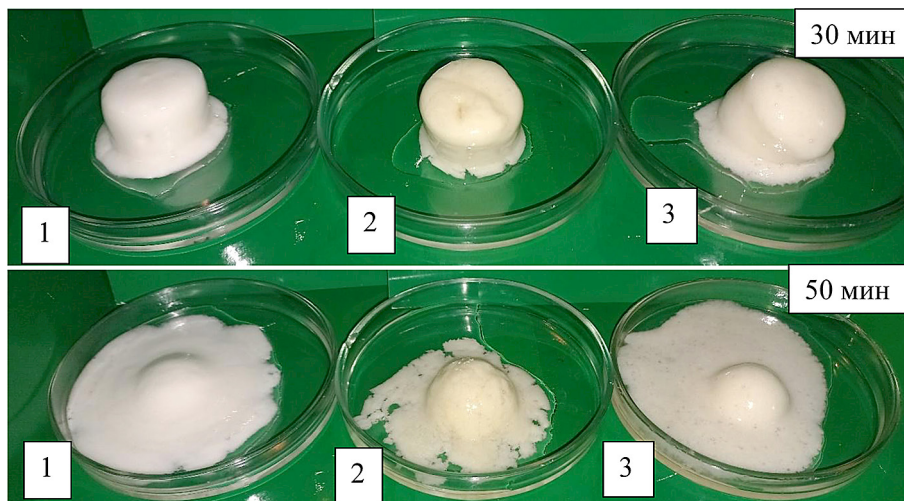


#### Рисунок 4

Формоустойчивость образцов взбитых замороженных фруктовых десертов через 30 и 50 минут экспозиции при температуре  $(20 \pm 0,5)^\circ\text{C}$

#### Figure 4

Shape Stability of Whipped Frozen Fruit Dessert Samples After 30 and 50 Minutes of Exposure at a Temperature of  $(20 \pm 0.5)^\circ\text{C}$



в образцах с цитрусовыми волокнами после 60 мин их выдерживания.

Полученные данные по исследованию устойчивости к температурным воздействиям коррелируют с данными по показателю «формуустойчивость» (Рисунок 4). Важно отметить, что в образце 2 наблюдается расслоение плава и более заметное отделение жидкости, чем в других образцах, что обычно несвойственно для взбитых замороженных десертов.

### Изучение микроструктурных показателей десертов

Основным технологическим процессом в производстве взбитых замороженных фруктовых десертов является процесс фризирования — одновременного замораживания и взбивания смеси. Именно в процессе фризирования формируется структура десерта и его структурные элементы. Особое внимание уделяют дисперсности кристаллов льда, т.к в процессе фризирования происходит процесс нуклеации — формирования их зародышей (Творогова & Ландиховская, 2018; Шобанова, 2018; Творогова, 2021; Giudici, 2021; Jia, 2022), которые в дальнейшем при закаливании являются центра-

ми кристаллизации для оставшейся в продукте влаги.

На морфологические показатели (размер, форма) кристаллов льда замороженных десертов влияют скорость замораживания, вязкость смеси, термомеханическое воздействие на продукт в процессе замораживания и взбивания. На Рисунке 5 приведены микрофотографии кристаллов льда исследуемых образцов. Данные по дисперсности кристаллов льда и их среднему размеру представлены в Таблице 2.

Как следует из данных, приведенных на Рисунке 5 и в Таблице 2, во всех образцах после закаливания сформировались достаточно мелкие кристаллы льда, их содержание ниже порога органолептической оскутмости (50 мкм) составило более 73%, что для замороженных взбитых фруктовых десертов является хорошим результатом.

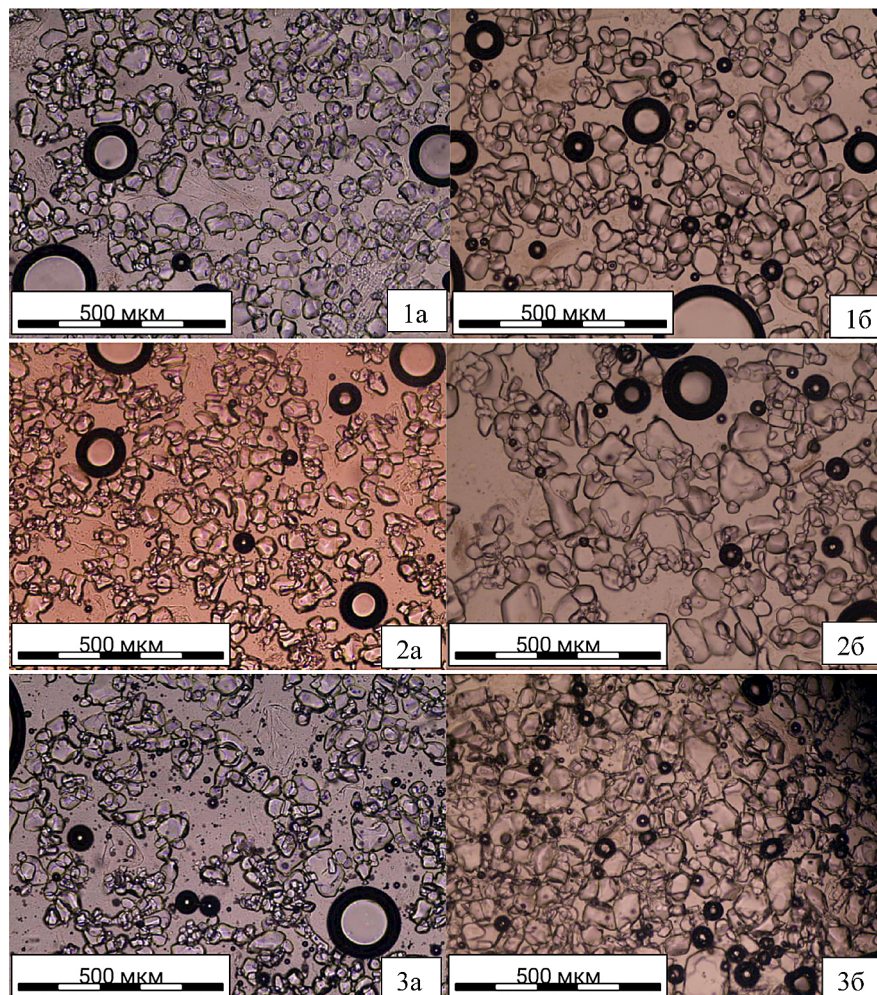
Установлено, что уже через 1,5 месяца хранения наблюдается рост кристаллов льда за счёт их перекристаллизации. Важно отметить, что в образце 3 этот процесс происходил более медленно, средний размер кристаллов льда по сравнению с контролем был меньше на 6%.

**Рисунок 5**

Микрофотографии кристаллов льда в замороженных взбитых фруктовых десертах

**Figure 5**

Microphotographs of Ice Crystals in Frozen Whipped Fruit Desserts



*Примечание.* а – после закаливания, б – через 1,5 месяца хранения

*Note.* a – after hardening, b – after 1.5 months of storage

**Таблица 2**

Средний размер кристаллов льда в десертах и их содержание до 50 и 70 мкм

**Table 2**

Average Ice Crystal Size in Desserts and Their Content up to 50 and 70 μm

Наименование	Образец 1	Образец 2	Образец 3
Содержание кристаллов льда до 50 мкм	81	83	73
Содержание кристаллов льда до 70 мкм	95	95	94
Средний размер кристаллов льда, мкм	37	36	42
	Через 1,5 месяца хранения		
Содержание кристаллов льда до 50 мкм	62	73	68
Содержание кристаллов льда до 70 мкм	87	92	86
Средний размер кристаллов льда, мкм	47	43	45

**Таблица 3**

Средний диаметр воздушного пузырька в десертах и их содержание с размером до 50 мкм через 1,5 мес. хранения

**Table 3**

*Average Air Bubble Diameter in Desserts and Their Content with Sizes up to 50 μm After 1.5 Months of Storage*

Наименование показателей	Содержание пузырьков воздуха до 50 мкм	Средний диаметр пузырька воздуха, мкм
Образец 1	87	29
Образец 2	76	39
Образец 3	79	36

В образце 2 с пищевыми волокнами средний размер кристаллов льда был наименьшим, однако уже через 1,5 месяца хранения увеличился почти на 20%.

Разновидность стабилизатора сказалась и на состоянии важного структурного элемента десертов воздушных пузырьков. Состояние воздушных пузырьков в десертах показано на Рисунке 6, данные о дисперсности (среднем диаметре и содержании пузырьков размером до 50 мкм) в образце через 1,5 мес. приведены в Таблице 3.

Из данных Таблицы 3 следует, что наибольшая дисперсность воздушной фазы характерна для десертов с желатином в контрольном образце, что объясняется пенообразующими свойствами этого белка. Использование композиции гуаровой камеди и пищевых волокон лишь незначительно улучшило этот показатель образца с волокнами. В целом дисперсность воздушной фазы в десертах с цитрусовыми волокнами характерна для этой разновидности продукции.

При проведении органолептической оценки образцов во всех образцах с волокном был отмечен горький привкус с возрастающей интенсивностью по мере увеличения количества волокон. Для его нивелирования желательно в качестве фруктового сырья использовать продукты переработки цитрусовых культур.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

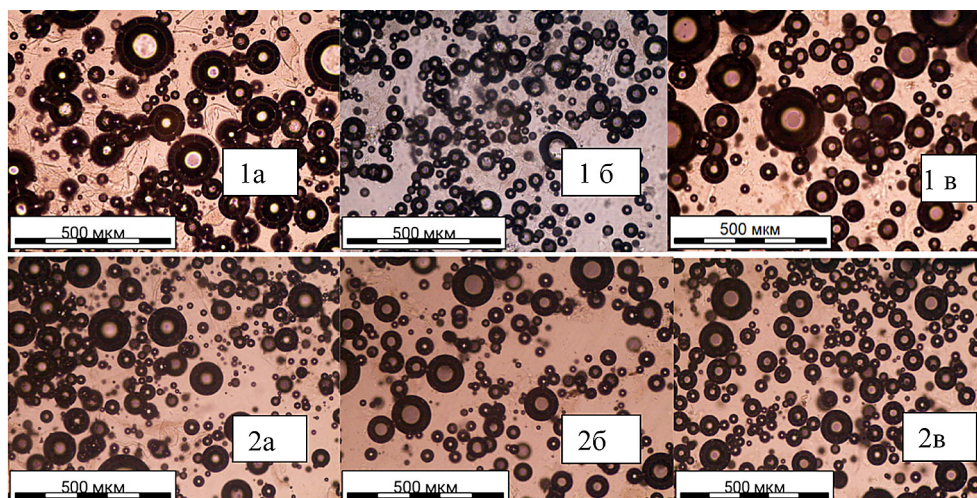
Исследования показали, что использование цитрусовых волокон в качестве моностабилизатора в замороженных фруктовых десертах, как и в производстве мороженого на молочной основе, невозможно по причине недостижения требуемого

**Рисунок 6**

Состояние воздушной фазы взбитых замороженных фруктовых десертов

**Figure 6**

State of the Air Phase in Whipped Frozen Fruit Desserts



*Примечание.* 1 – после закаливания, 2 – через 1,5 месяца. а – образец 1, б – образец 2, в – образец 3

*Note.* 1 – after hardening, 2 – after 1.5 months. a – sample 1, b – sample 2, c – sample 3

уровня вязкости (Ландиховская, 2021). Увеличение содержания этих волокон в десертах не приводит к заметному увеличению вязкости, но при придает готовому продукту нежелательный горький привкус (Ландиховская & Творогова, 2023).

Выбор в качестве дополнительного стабилизатора гуаровой камеди предпочтительнее для десертов в большей степени, чем для мороженого. Поскольку при использовании гуаровой камеди образуются наиболее крупные кристаллы льда, чем при наличии других камедей, в частности рожкового дерева (Творогова, 2021). Это противоречит данным полученным командой исследователей Yang et al. (2020). Наличие крупных кристаллов льда предпочтительнее во фруктовых замороженных десертах, поскольку этот продукт в наибольшей степени приобретает в весенне — летний период времени с целью достижения охлаждающего эффекта (Творогова и соавт., 2013; Щетинин, 2018). В связи с этим требования к отсутствию кристаллов льда в замороженных десертах не нормируются<sup>3</sup>. Применение композиции цитрусовых волокон с гуаровой камедью в наибольшей степени желательно именно во фруктовых замороженных десертах, поскольку в мороженом обязательным компонентом стабилизационных систем является эмульгатор, способствующий стабилизации воздушной фазы путем воздействия на состояние жировой фазы (Warren, 2018). Во фруктовых десертах, содержащих большее количество воды (около 70%), стабильность воздушной фазы в значительной степени поддерживается за счет цитрусовых волокон. Они прочно удерживают воду в структуре геля и тем самым препятствуют проявлению эффекта дренажа, приводящего к разрушению воздушной фазы (Гурский, 2023; Королев, 2023).

При исследовании динамической вязкости смесей для взбитых замороженных фруктовых десертов было выявлено синергетическое взаимодействие по этому показателю цитрусовых волокон и гуаровой камеди, используемых в соотношении 3:2. Значение динамической вязкости смеси при использовании композиции цитрусовых волокон и гуаровой камеди возросло по сравнению с показателем смеси с цитрусовыми волокнами более чем в 10 раз. Высокий уровень динамической вязкости при исполь-

зовании композиции стабилизаторов способствовал эффективному удерживанию воздушной фазы в структуре продукта, то привело к достижению взбитости в 2,6–2,9 раза выше, чем в образцах взбитых замороженных фруктовых десертов с моностабилизаторами.

Разновидность стабилизационной системы заметно не сказалась на дисперсности кристаллов льда. Во всех исследуемых образцах после закаливания сформировались достаточно мелкие кристаллы льда, их содержание ниже порога органолептической оскутмости (50 мкм) составило более 73%, что характеризует высокую дисперсность этих структурных элементов применительно к замороженным взбитым фруктовым десертам. Высокое содержание влаги в десертах и отсутствие жировой фазы приводит к нестабильному состоянию их структурных элементов. Уже через 1,5 месяца хранения отмечен рост кристаллов льда за счёт их перекристаллизации. Использование в качестве стабилизационной системы комплекса из гуаровой камеди и пищевых волокон привело к незначительному замедлению процесса перераспределения влаги в продукте. Отсутствие эмульгаторов и белков в десертах сказалось на дисперсности воздушной фазы. Средний размер воздушных пузырьков в образцах с цитрусовыми волокнами по сравнению с образцом, содержащим желатин, был больше в 1,2–1,3 раза.

## Ограничения исследования

Исследования распространяются на замороженные взбитые фруктовые десерты с содержанием сухих веществ 28%, в том числе сахарозы 26,5% и фруктов 1,5% при использовании цитрусовых волокон марки «Cetri-Fi» в количестве 0,5% и 0,3% в композиции с гуаровой камедью 0,2%.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цитрусовые волокна в количестве 0,5% не обеспечивают необходимую взбитость и вязкость для формирования структуры взбитых замороженных фруктовых десертов. Для достижения необходимой вязкости рекомендуется применять их в ком-

<sup>3</sup> ГОСТ Р 55624–2013 «Десерты взбитые замороженные фруктовые, овощные и фруктово-овощные. ТУ» С.5

бинации с гидроколлоидами, в частности, гуаровой камедью, а для достижения взбитости с эмульгаторами с функцией стабилизаторов или белками. Обоснование качественного и количественного состава применяемых гидроколлоидов, эмульгаторов или белков в композиции с цитрусовыми волокнами представляет научный и практический интерес и в других замороженных продуктах, включая мороженое различного состава и с ограниченным количеством пищевых добавок.

В дальнейшем необходимо исследовать взаимодействие цитрусовых волокон с другими гидроколлоидами, применяемыми в технологии взбитых замороженных фруктовых десертов, в частности каррагинанами, различными камедями. Результаты исследования, а именно разработанная композиция цитрусового волокна с гуаровой камедью, применяются при производстве взбитых замороженных фруктовых десертов на предприятиях отрасли для улучшения структуры десертов и повышения их качества.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCE

- Голубева, Л.В., & Пожидаева, Е.А. (2015). Сироп сахарного сорго и пищевые волокна «Цитри-фай» в технологии обогащенного мягкого мороженого. *Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования*, 11, 455–458.
- Golubeva, L.V., & Pozhidaeva, E.A. (2015). Sweet sorghum syrup and Citri-Fi dietary fibre in enriched soft ice cream technology. *New and Nontraditional Plants and Prospects of their Utilization*, 11, 455–458. (In Russ.)
- Голубева, Л.В., & Пожидаева, Е. А. (2019). Изучение функционально-технологических свойств сиропа сахарного сорго и его использование в технологии мороженого. *Техника и технология пищевых производств*, 49(3), 431–437. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-3-431-437>
- Golubeva, L.V., & Pozhidaeva, E.A. (2019). Functional and technological properties of sorghum syrup and its use in ice cream technology. *Food Processing: Techniques and Technology*, 49(3), 431–437. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-3-431-437>
- Грошева, В.Н. (2014). Исследование активности воды в кислородсодержащих продуктах с пищевыми волокнами. *Современные проблемы науки и образования*, (2).
- Grosheva, V.N. (2014). Research activity of water in oxygen products with dietary fiber. *Modern Problems of Science and Education*, (2).
- Гурский, И. А., & Творогова, А. А. (2022). Влияние концентратов сывороточных белков

## АВТОРСКИЙ ВКЛАД

**Полина Борисовна Ситникова:** концептуализация, разработка методологии исследования, курирование данных, написание рукописи -рецензирование и редактирование.

**Антонина Анатольевна Творогова:** концептуализация, разработка методологии исследования, курирование данных, написание рукописи -рецензирование и редактирование

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

**Polina B. Sitnikova:** conceptualization, methodology, data curation, writing - review and editing

**Antonina A. Tvorogova:** conceptualization, methodology, data curation, writing - review and editing

на технологические и органолептические показатели качества мороженого. *Техника и технология пищевых производств*, 52(3), 439–448. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2376>

Gurskiy, I.A., & Tvorogova, A.A. (2022). The effect of whey protein concentrates on technological and sensory quality indicators of ice cream. *Food Processing: Techniques and Technology*, 52(3), 439–448. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2376>

Гурский, И.А., & Творогова, А. А. (2023). Влияние технологических факторов на воздушную фазу взбитых кисломолочных десертов. *Техника и технология пищевых производств*, 53(1), 1–12.

Gurskiy, I.A., Tvorogova, A.A. (2023). The impact of technological factors on the air phase of defrosted fermented-milk desserts. *Food Processing: Techniques and Technology*, 53(1), 1–12. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-1-2410>

Есимова, Л.Б., & Корневская П.А. (2020) Обоснование использования цитрусовой клетчатки при производстве мясных продуктов. *Высокие технологии в растениеводстве — научная основа развития АПК* (с. 46–49). Москва: РГАТУ.

Esimova, L.B., & Korenevskaya P. A. (2020) Rationale for the use of citrus fiber in meat production. *High technologies in plant growing — the scientific basis for the development of the agro-industrial complex* (pp. 46–49). Moscow: RGATU.

Королев, И. А. (2023). Автоматизированное определение дисперсности воздушной фазы в мороженом

- с применением методов машинного обучения. *Техника и технология пищевых производств*, 53(3), 455–464. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2448>
- Korolev, I.A. (2023). Automated measurement of air bubbles dispersion in ice cream using machine learning methods. *Техника и технология пищевых производств*, 53(3), 455–464. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2448>
- Ландиховская, А.В., & Творогова, А.А. (2021). Нутриентный состав мороженого и замороженных десертов: современные направления исследований. *Пищевые системы*, 4(2), 74–81. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-74-81>
- Landikhovskaya, A.V., & Tvorogova, A.A. (2021). Ice cream and frozen desserts nutrient compositions: Current trends of researches. *Food Systems*, 4(2), 74–81. (In Russ.) <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-74-81>
- Ландиховская, А.В., & Творогова, А.А. (2023) Показатели качества молочного мороженого с цитрусовыми волокнами и камедями. *Пищевые системы*, 6(2), 261–268. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-2-261-268>
- Landikhovskaya, A.V., & Tvorogova, A.A. (2023) Quality characteristics of milk ice cream with citrus fibers and gum. *Food Systems*, 6(2), 261–268. (In Russ.) <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-2-261-268>
- Неповинных, Н.В., & Птичкина, Н.М. (2015). Исследование физико-химических свойств замороженных десертов специального назначения. *Вестник международной академии холода*, 2, 28–31.
- Nepovinnykh, N.V., & Ptichkina, N.M. (2015). Physicochemical properties of frozen desserts for special purposes. *Journal of International Academy of Refrigeration*, 2, 28–31. (In Russ.)
- Ситникова, П.Б., & Творогова, А.А. (2018). Влияние количества деэмульгированного жира на термо- и формоустойчивость мороженого. *Контроль качества продукции*, 6, 59–62.
- Sitnikova, P.B., & Tvorogova, A.A. (2018). The influence of the amount of demulsified fat on the thermal and form stability of ice cream. *Production Quality Control*, 6, 59–62. (In Russ.)
- Творогова, А.А. (2021) *Мороженое в России и СССР: Теория. Практика. Развитие технологий*. Санкт-Петербург: «Профессия».
- Tvorogova, A. A. (2021). *Ice cream in Russia and the USSR: Theory, practice, development of technologies*. Saint-Petersburg: Profession. (In Russ.)
- Творогова, А.А., Ландиховская, А.В., Шобанова, Т.В., Закирова, Р.Р., & Гурский, И.А. (2018). Обоснование композиционного состава мороженого. *Вопросы питания*, 87(5), 242–243.
- Tvorogova, A.A., Landihovskaya, A.V., Shobanova, T.V., Zakirova, R.R., & Gurskij, I.A. (2018). Justification of the composition of ice cream. *Problems of Nutrition*, 87(5), 242–243. (In Russ.)
- Творогов,а А.А., Шобанова, Т.В., Казакова, Н.В., & Канина, К.А. (2022). Влияние частичной замены СОМО концентратами и гидролизатами сывороточных белков на показатели качества мороженого пломбир. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*, 3, 138–147. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2022-3-138-147>
- Tvorogova, A.A., Shobanova, T.V., Kazakova, N.V., & Kanina, K.A. (2022). Effect of partial replacement of milk solids non-fat (MSNF) with whey protein concentrates and hydrolysates on the quality parameters of plombières ice cream. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*, 3, 138–147. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2022-3-138-147> (In Russ.)
- Творогова, А.А. Чижова, П.Б., Казакова, Н.В., Турбина И.А., & Спиридонова, А.В. (2013). Влияние молочного белка на качественные показатели фруктовых замороженных десертов. *Молочная промышленность*, (7), 46–47.
- Tvorogova, A.A. Chizhova, P.B., Kazakova, N.V., Turbina I.A., & Spiridonova, A.V. (2013). The influence of milk protein on the quality indicators of fruit frozen desserts. *Dairy Industry*, (7), 46–47. (In Russ.)
- Творогова, А.А., Коновалова, Т.В., Гурский И.А., Базакий, В.Н., & Аврамова С.В. (2016). Особенности применения пищевых волокон SenseFi в производстве мороженого пломбир. *Пищевая промышленность*, 10, 34–36.
- Tvorogova, A.A., Konovalova, T.V., Gursky, I.A., Bazaliy, V.N., & Avramova, S.V. (2016). Features of the application dietary fibers SenseFi in the manufacture of sundae ice-cream. *Food Industry*, 10, 34–36. (In Russ.)
- Творогова, А.А., & Чижова, П.Б. (2013). Объективная оценка структуры замороженных взбитых фруктовых десертов по состоянию кристаллов льда. *Холодильная техника*, (2), 58–61.
- Tvorogova, A.A., & Chizhova, P.B. (2013). Objective assessment of the structure of frozen whipped fruit desserts based on the state of ice crystals. *Refrigeration Technology*, (2), 58–61. (In Russ.)
- Творогова, А.А., Ситникова, П.Б., Коновалова, Т.В., Базакий, В.Н., & Герасимчук, В.П. (2014). Обоснование функциональной роли пищевых волокон SenseFi в технологии мороженого. *Пищевая промышленность*, 12, 46–48.
- Tvorogova, A.A., Sitnikova, P.B., Konovalova, T.V., Bazaliy, V.N., & Gerasimchuk, V.P. (2014). Justification of the functional role of dietary fibers sensefi in the technology of ice Cream. *Food Industry*, 12, 46–48. (In Russ.)
- Шобанова, Т.В., & Творогова, А.А. (2018). Влияние жировой фазы на технологически значимые показатели мороженого пломбир без эмульгаторов. *Пищевые системы*, 1(1), 4–11. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2018-2-1-4-11>
- Shobanova, T.V., & Tvorogova, A.A. (2018). Influence of fat phase on technologically important indicators of ice-cream plombir without emulsifiers. *Food Systems*, 1(1), 4–11. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2018-2-1-4-11> (In Russ.)
- Щетинин, М. П., & Ходырева, З. Р. (2018). Научно-гигиенические подходы к разработке замороженного десерта. *Вопросы питания*, 87(3), 72–78. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10034>
- Shchetinin, M. P., & Hodyreva, Z. R. (2018). Scientific bases of development of frozen dessert. *Problems of Nutrition*, 87(3), 72–78. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10034>

- 87(3), 72–78. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10034>
- Akalın, A. S., Kesenkas, H., Dinkci, N., Unal, G., Ozer, E., & Kınık, O. (2018). Enrichment of probiotic ice cream with different dietary fibers: Structural characteristics and culture viability. *Journal of Dairy Science*, 101(1), 37–46. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13468>
- Bonarius, G. A., Vieira, J. B., van der Goot, A. J., & Bodnár, I. (2014). Rheological behaviour of fibre-rich plant materials in fat-based food systems. *Food Hydrocolloids*, 40, 254–261. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.03.016>
- Cartagena, M., Giura, L., Ansorena, D., & Astiasaran, I. (2024). A texture-modified dessert with high nutritional value designed for people with dysphagia: Effect of refrigeration and frozen storage. *Food Science and Human Wellness*, 13(1), 462–471. <https://doi.org/10.26599/FSHW.2022.9250040>
- Crizel, T. de M., Araujo, R. R. de, Rios, A. de O., Rech, R., & Flôres, S. H. (2014). Orange fiber as a novel fat replacer in lemon ice cream. *Food Science and Technology (Campinas)*, 34(2), 332–340. <https://doi.org/10.1590/fst.2014.0057>
- Da Silva Costa, R.A., Bonomo, R. C.F., Rodrigues, L.B., Santos, L.S., & Veloso, C.M. (2020). Improvement of texture properties and syneresis of arrowroot (*Maranta arundinacea*) starch gels by using hydrocolloids (guar gum and xanthan gum). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100, 3204–3211. <https://doi.org/10.1002/jfsa.10356>
- Dervisoglu, M., Yazici, F. (2006). Note. The effect of citrus fibre on the physical, chemical and sensory properties of ice cream. *Food Science and Technology International*, 12(2), 159–164. <https://doi.org/10.1177/1082013206064005>
- Giudici, P., Baiano, A., Chiari, P., De Vero, L., Ghanbarzadeh, B., & Falcone, P. M. (2021). A mathematical modeling of freezing process in the batch production of ice cream. *Foods*, 10(2), 334. <https://doi.org/10.3390/foods10020334>
- Goff, H. D., & Hartel, R. W. (2012). Ice Cream Structure. In *Ice Cream* (pp. 313–352). <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6096-111>
- Goff, H.D. (2016). Milk proteins in ice cream. In P. McSweeney, & J. O'Mahony (Eds.), *Advanced dairy chemistry*. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2800-2\\_13](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2800-2_13)
- Grigelmo-Miguel, N., & Martín-Belloso, O. (1998). Characterization of dietary fiber from orange juice extraction. *Food Research International*, 31(5), 355–361. [https://doi.org/10.1016/s0963-9969\(98\)00087-8](https://doi.org/10.1016/s0963-9969(98)00087-8)
- Jia, G., Chen, Y., Sun, A., & Orlien, V. (2022). Control of ice crystal nucleation and growth during the food freezing process. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 21(3), 2433–2454. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12950>
- Jiang, Z. M., Zhang, Y., Huang, C., Ma, S., Mu, H., Li, X., Liu, Y., Ma, Y., & Liu, J. H. (2022). Comparison and characterization of the structure and physicochemical properties of three citrus fibers: Effect of ball milling treatment. *Foods*, 11(17), 2665. <https://doi.org/10.3390/foods11172665>
- Kieserling, K., Vu, T. M., Drusch, S., & Schalow, S. (2019). Impact of pectin-rich orange fibre on gel characteristics and sensory properties in lactic acid fermented yoghurt. *Food Hydrocolloids*. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.02.051>
- Malgor, M., Sabbione, A.C. & Scilingo, A. (2020). Amaranth lemon sorbet, elaboration of a potential functional food. *Plant Foods for Human Nutrition*, 75, 404–412. <https://doi.org/10.1007/s11130-020-00818-y>
- Palka, A., & Wilczyńska, A. (2023). Storage quality changes in craft and industrial blueberry, strawberry, raspberry and passion fruit-mango sorbets. *Foods*, 12(14), 2733. <https://doi.org/10.3390/foods12142733>
- Patel, M. R., Baer, R. J., & Acharya, M. R. (2006). Increasing the protein content of ice cream. *Journal of Dairy Science*, 89(5), 1400–1406. [https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302\(06\)72208-1](https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(06)72208-1)
- Roer, J. (2022). *Exploring women's visual narratives of brain injury* (Master's thesis). University of Victoria. UVicSpace Institutional Repository. <http://hdl.handle.net/1828/13924>
- Sendra, E., Kuri, V., Fernández-López, J., Sayas-Barberá, E., Navarro, C., & Pérez-Alvarez, J. A. (2010). Viscoelastic properties of orange fiber enriched yogurt as a function of fiber dose, size and thermal treatment. *LWT – Food Science and Technology*, 43(4), 708–714. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2009.12.005>
- Sitnikova P.B., & Tvorogova A.A. (2019). Physical changes in the structure of ice cream and frozen fruit desserts during storage. *Food Systems*, 2(2), 31–35. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-2-31-35>
- Soukoulis, C., & Fisk, I. (2016). Innovative ingredients and emerging technologies for controlling ice recrystallization, texture, and structure stability in frozen dairy desserts: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(15), 2543–2559. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.876385>
- Su, D., Zhu, X., Wang, Y., Li, D., & Wang, L. (2019). Effects of high-pressure homogenization on physical and thermal properties of citrus fiber. *LWT*, 108573. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108573>
- Su, D., Zhu, X., Wang, Y., Li, D., & Wang, L. (2020). Effect of high-pressure homogenization on rheological properties of citrus fiber. *LWT*, 127, 109366. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109366>
- Duong, T. T. T., Trang, N. T., & Nguyet, N. T. M. (2021). The effects of citrus fibre on structural and physical properties of free-milk ice cream from lima bean (*phaseolus lunatus* l.) aquafaba, coconut milk and purple sweet potato. *Journal of Science and Technology*, 50(02), 201–212. <https://doi.org/10.46242/jst-iuh.v50i08.967>
- Warren, M. M., & Hartel, R. W. (2018). Effects of emulsifier, overrun and dasher speed on ice cream microstructure and melting properties. *Journal of Food Science*, 83(3), 639–647. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13983>
- Xavier, J. R., & Ramana, K. V. (2022). Development of slow melting dietary fiber-enriched ice cream formulation using bacterial cellulose and inulin. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(5), e15394. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15394>
- Yang, X., Li, A., Li, X., Sun, L., & Guo, Y. (2020). An overview of classifications, properties of food polysaccharides and their links to applications in improving food textures. *Trends in Food Science & Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.05.020>

# Разработка экструдированных продуктов с добавлением гидролизатов жмыха брусники и дрожжевой биомассы

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи (ВНИИПБТ – филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», г. Москва, Российская Федерация

## КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Мария Валентиновна Амелякина  
E-mail: foodbiotech@ya.ru

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Шариков, А.Ю., Соколова, Е.Н., Ионов, В.В., Амелякина, М.В., & Серб, Е.М. (2024). Разработка экструдированных продуктов с добавлением гидролизатов жмыха брусники и дрожжевой биомассы. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(4), 133-148. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.4.610>

ПОСТУПИЛА: 10.04.2024

ДОРАБОТАНА: 22.12.2024

ПРИНЯТА: 16.12.2024

ОПУБЛИКОВАНА: 27.12.2024

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ:

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-16-00100. <https://rscf.ru/project/22-16-00100/>



## АННОТАЦИЯ

**Введение:** Разработка экструдированных специализированных профилактических продуктов предполагает введение в экструдруемую смесь значительного количества функциональных ингредиентов. Современной тенденцией в пищевой промышленности является стремление эффективно использовать вторичные ресурсы переработки плодово-ягодного сырья, как источников пищевых волокон, фенольных соединений, красителей, а также применять в качестве функциональных ингредиентов продукты биоконверсии. Значимое изменение рецептур экструдированных продуктов может негативно отразиться на структурно-механических, гидратационных характеристиках готовых продуктов.

**Цель:** Разработка сбалансированных по пищевой ценности экструдированных продуктов с добавлением гидролизата жмыха брусники, как источника пищевых волокон и фенольных соединений, и гидролизата дрожжевой биомассы как источника белка, а также исследование влияния состава смеси на физико-химические и структурно-механические характеристики экструдатов.

**Материалы и методы:** С использованием метода D-оптимального планирования с ограничениями составлены рецептуры смесей на основе рисовой крупы с добавлением до 8 % гидролизатов жмыха брусники и дрожжевой биомассы, обеспечивающие получение смесей с отличительными признаками «высокое содержание пищевых волокон» и «источник белка». Смесей экструдировали при влагосодержании 15% и температуре 155–160 °С, далее определяли их физико-химические и технологические характеристики.

**Результаты:** Получены адекватные математические модели, описывающие влияние состава смеси на удельную механическую энергию, коэффициент расширения и насыпную плотность экструдатов, твердость, количество микроразломов, цветовые характеристики, содержание фенольных соединений. С добавлением гидролизатов жмыха брусники и дрожжевой биомассы в рецептуры смесей до 8 % снижался удельный расход механической энергии с 0,214 до 0,163 кВт·ч/кг. Ухудшения структурно-механических свойств не происходило: твердость экструдатов снижалась с 15,8 до 6,2 Н, количество микроразломов, косвенного показателя пористости или хрупкости, возрастало с 6,7 до 11,8. Динамическая вязкость водных суспензий помолов экструдатов с гидролизатами, заваренными как каши быстрого приготовления, составляла 2,3...3,2 Па·с. Внесение гидролизата жмыха брусники значимым образом увеличило в экструдатах содержание фенольных соединений с 57,2 до 1258...1261 мкг/г, при этом отмечено значимое смещение цветовой хроматической составляющей  $a^*$  в область красного с 7,7 до 44.

**Выводы:** Использование гидролизатов жмыха брусники и дрожжевой биомассы в рецептурах экструдированных продуктов позволяет получать продукты, готовые к употреблению, с высокой пищевой ценностью без ухудшения потребительских характеристик, которые могут применяться для специализированного диетического питания.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

экструдированные продукты; функциональные ингредиенты; гидролизат жмыха брусники; гидролизат дрожжевой биомассы; пищевые волокна; фенольные соединения; структурно-механические свойства; физико-химические характеристики; специализированное питание; вторичные ресурсы переработки; экструдаты; D-оптимальное планирование

# The Development of Composite Extruded Products with Hydrolysates of Lingonberry Pomace and Yeast Biomass

VNIIPBT – branch of Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russian Federation

Anton Yu. Sharikov, Elena N. Sokolova, Vladislav V. Ionov,  
Maria V. Amelyakina, Elena M. Serba

## CORRESPONDENCE:

**Maria V. Amelyakina,**  
E-mail: foodbiotech@ya.ru

## FOR CITATIONS:

Sharikov, A.Yu., Sokolova, E.N., Ionov, V.V., Amelyakina, M.V., & Serba, E.M. (2024). The development of composite extruded products with hydrolysates of lingonberry pomace and yeast biomass. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(4), 133-148.  
<https://doi.org/10.36107/spfp.2024.4.610>

**RECEIVED:** 10.04.2024

**REVISED:** 22.12.2024

**ACCEPTED:** 16.12.2024

**PUBLISHED:** 27.12.2024

## DECLARATION OF COMPETING

**INTEREST:** none declared.

## FUNDING:

The study was funded by a grant from the Russian Science Foundation №22-16-00100, <https://rscf.ru/project/22-16-00100/>.



## ABSTRACT

**Introduction:** The development of extruded functional products involves the introduction of a significant amount of functional ingredients into the extruded mixture. Modern trends in the food industry are the effective utilization of by-products from processing fruit and berry raw materials as sources of dietary fiber, phenolic compounds, and the usage of bioconversion products as functional ingredients. Significant changes in the recipes of extruded products can negatively affect the structural, mechanical, hydration products characteristics.

**Purpose:** To develop balanced in nutritional value extruded products with the addition of lingonberry pomace hydrolysate as a source of dietary fiber and phenolic compounds, and yeast biomass hydrolysate as a source of protein, as well as to study the effect of the mixture composition on the physicochemical and structural and mechanical characteristics of the extrudates.

**Materials and Methods:** Using the D-optimal planning method with constraints, the recipes of mixtures based on broken rice with the addition of up to 8% of hydrolysates lingonberry pomace and yeast biomass were compiled. The mixtures were extruded at a moisture content of 15% and a temperature of 155–160 °C. Then physical, chemical, and technological characteristics of extrudates were determined.

**Results:** Adequate mathematical models describing the effect of the mixture composition on the specific mechanical energy, expansion coefficient and bulk density of extrudates, hardness, number of microfractures, color characteristics, and content of phenolic compounds were obtained. With the addition of hydrolysates of lingonberry pomace and yeast biomass to the mixture recipes up to 8%, the specific mechanical energy decreased from 0.214 to 0.163 kW-h/kg. There was no deterioration in the structural and mechanical properties: the hardness of the extrudates decreased from 15.8 to 6.2 N, the number of microfractures as indirect indicator of porosity or crispness increased from 6.7 to 11.8. The dynamic viscosity of aqueous suspensions of extrudate grindings with hydrolysates brewed as instant porridges was 2.3...3.2 Pa s. The introduction of lingonberry pomace hydrolysate significantly increased the content of phenolic compounds in the extrudates from 57.2 to 1258...1261 µg/g, while a significant shift in the color chromatic component  $a^*$  to the red color from 7.7 to 44 was noted.

**Conclusion:** The use of hydrolysates of lingonberry pomace and yeast biomass in the formulations of extruded products allows to obtain ready-to-eat products with high nutritional value without deterioration of consumer characteristics, which can be used for specialized dietary nutrition.

## KEYWORDS

extruded products; functional ingredients; lingonberry pomace hydrolysate; yeast biomass hydrolysate; dietary fiber; phenolic compounds; structural-mechanical properties; physicochemical characteristics; specialized nutrition; secondary processing resources; extrudates; D-optimal design

## ВВЕДЕНИЕ

Одним из следствий урбанизации общества является переход от традиционных рациона и режима приемов пищи к увеличивающейся доле перекусов, и соответственно, потреблению пищевых продуктов, готовых к употреблению, снеков и полуфабрикатов. Основу рецептур снеков и продуктов, готовых к употреблению, составляет крахмалсодержащее сырье, претерпевающее значительные физико-химические и структурные изменения во время обработки. Технологическая модификация крахмала значимо сказывается на гликемическом индексе такой продукции и при регулярном потреблении в сочетании с малоподвижным образом жизни оказывает влияние на рост алиментарных заболеваний, ожирения, диабета (Brennan et al., 2013; Krawęcka et al., 2019).

Решение проблемы поиска баланса между удобством пищевого продукта для потребления в современном городском ритме жизни и его высокой пищевой ценностью являются инновационные пищевые технологии, включающие эффективные способы переработки сырья и подходы к составлению рецептур, направленные на снижение доли компонентов, оказывающих неблагоприятное действие на здоровье, и увеличение содержания ингредиентов — источников микронутриентов, биологически активных веществ (Тутельян, 2021; Gat & Ananthanarayan, 2015). Большое количество научных исследований в этом направлении проводится с использованием технологии экструзии, позволяющей с минимальными производственными затратами перерабатывать многокомпонентные смеси сельскохозяйственного сырья, варьируя в широких пределах различные режимные параметры экструзии, температуры, давления, сдвиговых деформаций (Brennan et al., 2013; Tas & Shah, 2021; Vishwakarma et al., 2022; Delić et al., 2023). В результате возможно получение экструдированных продуктов с различными физико-химическими, структурно-механическими, гидратационными и органолептическими характеристиками.

Важным аспектом в разработке инновационных экструдированных снеков и других продуктов, готовых к употреблению, является выбор источников биологически активных веществ. Одним из трендов, затрагивающих не только экструзионные технологии, является использование вто-

ричных ресурсов перерабатывающих отраслей в производстве продуктов с высокой добавленной стоимостью (Michalska-Ciechanowska, 2019; Grasso, 2020). В отношении экструдированных продуктов в качестве ингредиентной базы особый акцент делается на жмыхах плодово-ягодного сырья как недорогих источниках пищевых волокон, фенольных соединений, антоцианов, органических кислот и других биологически активных веществ (Волкова и соавт., 2023; Iqbal et al., 2021).

Предварительная ферментативная обработка жмыхов в сочетании со специальными гидротермомеханическими режимами экструзии позволяет значительно повысить в экструдатах содержание фенольных соединений даже без изменения рецептуры смеси (Шариков и соавт., 2024а). Не менее важным при разработке сбалансированного экструдированного продукта является повышение содержания белка, перспективным источником которого является дрожжевая биомасса и ее гидролизаты (Серба, 2022; Jach, 2022). Добавление 10% гидролизата дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* 985-T при экструдировании пшеничной муки не оказало значимого влияния на процесс экструзии, но повысило содержание связанных и свободных аминокислот на 14,2% и 412%, соответственно (Шариков, 2023).

Целью текущего исследования являлась разработка сбалансированных по пищевой ценности экструдированных продуктов с добавлением гидролизата жмыха брусники, как источника пищевых волокон и фенольных соединений, и гидролизата дрожжевой биомассы как источника белка, а также исследование влияния состава смеси на физико-химические и структурно-механические характеристики экструдатов.

Выбор брусники *Vaccinium vitis-idaea* L. как исходного сырья, вторичным продуктом переработки которого являлся гидролизуемый жмых, обусловлен химическим составом ягоды, включающим широкий ряд фенольных соединений, антоцианов, лейкоантоцианов, катехинов, флавонолов и фенолокислот. Общее содержание полифенольных соединений в ягодах брусники варьируется от 500 до 1910 мг%, что определяет ее высокий антиоксидантный, противовирусный, противомикробный, противовоспалительный и нейропротекторный потенциал. (Лютикова & Ботиров, 2015; Kitryté, 2020).

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Объекты исследования

Объектами исследования являлись смеси крупы рисовой дробленой, гидролизатов жмыха брусники и дрожжевой биомассы и экструдаты, полученные из них.

### Материалы

При производстве экструдированных продуктов использовали крупу рисовую дробленную (ГОСТ 6292–93<sup>1</sup>), бруснику замороженную (ГОСТ 33823–2016<sup>2</sup>), биомассу промышленной расы дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* 985-T, ферментный препарат Брюзайм ВGX (Genincor), протеазу Протоферм FP (Novozymes), Пектиназу Г20Х (ООО «Гладера Рус») на основе микромицета *Aspergillus foetidus*, Целловиридин Г20Х (ООО «Сиббиофарм») на основе штамма *Trichoderma viride*; Нейтразу Г18Х (ООО «Пищепромпродукт») на основе штамма *Bacillus subtilis*, Липазу Г20Х (ООО «Фермент-Трейд») на основе штамма *Aspergillus niger*.

### Оборудование

Анализатор влажности ML-50 (A&D, Япония), анализатор текстуры СТ3 (Brookfield, USA), анализатор цвета CS-10 (Hangzhou CHNSpec Technology, Китай), вискозиметр SV-10 (A&D, Япония), спектрофотометр Specord 50 Analytic Yena (Германия), экструдер Werner&Phleiderer Continua 37 (Германия).

### Методы и процедура исследования

Гидролизат жмыха брусники получали после отжима сока путем ферментативной обработки жмыха комплексом гидролаз, включающим пектиназу в дозировке 0,25 ед. ПкС/г жмыха, целлюлазу — 0,75 ед. ЦС/г, протеазу — 0,05 ед. ПС/г и липазу — 0,05 ед. ЛС/г. Водно-ферментативную обработку проводили при соотношении субстрат: вода 1:2 при температу-

ре 50 °С, pH 4,8 в течении 6 часов. Далее гидролизат жмыха высушивали при температуре 65 °С.

Гидролизат дрожжевой биомассы получали путем ее ферментативного гидролиза при температуре 48–50 °С в течение 6 ч с использованием эндогенных ферментов β-глюканазного (Брюзайм ВGX) и протеолитического (Протоферм FP) действия. Подробное описание условий культивирования дрожжевой биомассы представлено ранее (Серба и соавт., 2022). Полученный гидролизат высушивали распылительной сушкой и использовали как ингредиент для обогащения экструдата белком.

В качестве рецептурной основы экструдированного продукта использовали дробленную рисовую крупу — отход крупяного производства. Рисовый крахмал в процессе комплексного гидротермомеханического воздействия и перепада давлений на выходе из фильер экструзии формировал пенообразную хрустящую структуру. Рецептуры смесей составлялись методом D-оптимального планирования с ограничениями (Carneiro et al., 2020) с использованием программы Design-Expert v.6 (Stat-Easy Inc., США). Ограничения были наложены на содержание гидролизатов жмыха брусники и дрожжевой биомассы — не более 8%. Область факторного планирования была выбрана таким образом, чтобы максимальные уровни внесения гидролизатов жмыха и дрожжевой биомассы обеспечивали получение экструдатов с отличительными признаками «высокое содержание пищевых волокон» (более 6 г/100 г продукции) и «источник белка» (белок обеспечивает более 12% энергетической ценности продукта) в соответствии с требованиями ТР ТС 022/2011<sup>3</sup>. План эксперимента и расчетные характеристики пищевой ценности смесей представлены в Таблице 1.

Смеси экструдировались с использованием экструдера Werner&Phleiderer Continua 37 с диаметром шнека 37 мм и соотношением диаметра к длине шнека 1:27 и установленной фильерой с двумя отверстиями прямоугольного сечения шириной 12 и высотой 1,5 мм. Производительность экструдера

<sup>1</sup> ГОСТ 6292–93. (2010). Крупа рисовая. Технические условия. М.: Стандартинформ.

<sup>2</sup> ГОСТ 33823–2016. (2016). Фрукты быстрозамороженные. Общие технические условия. М.: Стандартинформ.

<sup>3</sup> ТР ТС 022/2011 (2011). Пищевая продукция в части ее маркировки. Совет Евразийской экономической комиссии. <http://www.tsouz.ru/db/techreglam/Documents/TrTsPishevkaMarkirovka.pdf>

**Таблица 1**

Рецептуры экструдированных продуктов с гидролизатами жмыха брусники и дрожжевой биомассы

**Table 1***Formulations of Extruded Products with Lingonberry Pomace Hydrolysates and Yeast Biomass*

№	Крупа рисовая дробленая, %	Гидролизат жмыха брусники, %	Гидролизат дрожжевой биомассы, %	Содержание белка, г/100 г	Вклад белка в энергетическую ценность, %	Содержание пищевых волокон, %
1	84,0	8,0	8,0	10,8	13,3	8,8
2	92,0	8,0	0	7,2	8,8	8,1
3	100,0	0	0	7,0	8,3	3,0
4	100,0	0	0	7,0	8,3	3,0
5	89,0	8,0	3,0	8,5	10,5	8,4
6	89,1	5,1	5,8	9,7	12,0	6,8
7	96,0	4,0	0	7,1	8,5	5,6
8	92,0	5,0	3,0	8,5	10,3	6,5
9	97,0	1,0	2,0	7,9	9,4	3,8
10	92,0	0	8,0	10,6	12,6	3,7
11	94,1	1,9	4,0	8,8	10,5	4,6
12	84,0	8,0	8,0	10,8	13,3	8,8
13	92,0	0	8,0	10,6	12,6	3,7
14	86,5	8,0	5,5	9,6	12,0	8,6

составляла 10 кг/час, влагосодержание доводилось до 15%, температура 155–160 °С.

В качестве показателя размеров экструдатов рассчитывали коэффициент расширения как соотношение произведений ширины и толщины экструдатов и соответствующей площади сечения формирующих отверстий фильеры. Насыпную плотность измеряли на помолх экструдатов в мерном цилиндре объемом 1 дм<sup>3</sup> и диаметром 10 см.

Изменение структурно-механических свойств определяли с помощью анализатора Brookfield CT3 Texture Analyser, оснащенного металлическим цилиндрическим зондом диаметром 3 мм при глубине и скорости прокола 3 мм и 0,5 мм/с, соответственно. В качестве параметров текстуры регистрировали твердость образца и количество микроразломов как характеристику пористости.

Цветовые характеристики экструдата определяли колориметрическим методом с использованием анализатора CS-10 (Hangzhou CHNSpec Technology, Китай) в системе CIE Lab, где L — характеристика светлоты от 0 до 100, а — хроматическая со-

ставляющая в диапазоне от зеленого до красного, b — хроматическая составляющая в диапазоне от синего до желтого (Yu et al., 2021). Хроматические составляющие ограничены диапазоном значений –100/+100.

Измерение вязкости суспензий экструдатов проводили с целью характеристики реологических свойств при использовании экструдатов в качестве основы для инстант-продуктов, например, каш быстрого приготовления. Для имитации доведения инстант-продукта до готовности, помол экструдата смешивали с водой температурой 95–98 °С в соотношении 1:3 при постоянном перемешивании. После перемешивания температуру образца снижали до 24 °С и измеряли динамическую вязкость вискозиметром SV-10 (AND, Япония).

Содержание фенольных соединений в экструдатах осуществляли спектофотометрическим методом с использованием хлорида алюминия, 18-молибдодифосфата и реактива Фолина-Чокальтеу (Денисенко и соавт., 2015) на спектрофотометре Specord 50 Analytic Yena при длине волны 720 нм.

## Анализ данных

Математические модели зависимости режимных параметров экструзии и физико-химических показателей экструдатов получали с использованием пакета программ Design-Expert v.6 (Stat-Easy Inc., США). С использованием данного программного обеспечения строились графические интерпретации моделей в виде линий равного уровня. Значимость полученных моделей оценивалась методом однофакторного дисперсионного анализа при  $p < 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Получение экструдатов и расчет математических моделей удельной механической энергии экструзии и физико-химических показателей экструдатов

На предварительном этапе работы получали в виде высушенных ингредиентов гидролизаты жмыха

брусники и дрожжевой биомассы. Затем составляли смеси для экструдирования в соответствии с D-оптимальным планом с ограничениями, проводили экструдирование, оценивали структурно-механические, реологические, цветовые характеристики экструдатов, содержание фенольных соединений. Выбор ограничительных диапазонов содержания гидролизатов в смесях от 0 до 8% обусловлен возможностью получения экструдатов с различными отличительными признаками, например, высокое содержание пищевых волокон, источник белка. В соответствии с Таблицей 1 обоими признаками (содержание пищевых волокон выше 6 г/100 г, вклад белка в энергетическую ценность более 12%) обладают образцы № 1, 6, 12. Как источник белка и источник пищевых волокон идентифицируются образцы №10, 13, 14. Образцы только с высоким содержанием пищевых волокон — № 2, 5, 8.

На Рисунке 1 представлены фотографии экструдатов, совмещенные с планом эксперимента на смесях.

**Рисунок 1**

Экструдированные продукты с гидролизатами жмыха брусники и дрожжевой биомассы

**Figure 1**

Extruded Products with Lingonberry Pomace Hydrolysates and Yeast Biomass



*Примечание.* (A;B;C) – содержание компонентов в смеси в %, где А – крупа рисовая, В- гидролизат жмыха брусники, С – гидролизат дрожжевой биомассы.

*Note.* (A; B; C) – component content in the mixture in %, where A is broken rice, B is lingonberry pomace hydrolysate, and C is yeast biomass hydrolysate.

**Таблица 2**

Математические модели удельной механической энергии экструзии и физико-химические показатели экструдатов

**Table 2**

Mathematical Models of Extrusion Specific Mechanical Energy and Physicochemical Parameters of Extrudates

Показатель	Тип модели	Уравнение	p-значение
Удельная механическая энергия, кВт·час/кг	Линейная с взаимодействием	$0,214 \cdot A + 0,44 \cdot B + 3,4 \cdot C - 0,7 \cdot A \cdot B - 3,7 \cdot A \cdot C - 4,39 \cdot B \cdot C$	0,0049
Коэффициент расширения	Линейная	$10,3 \cdot A - 24 \cdot B + 18,3 \cdot C$	0,004
Насыпная плотность, г/дм <sup>3</sup>	Линейная	$870 \cdot A + 40,6 \cdot B + 1194,9 \cdot C$	0,0011
Твердость, Н	Линейная	$15,8 \cdot A - 60,9 \cdot B - 27,5 \cdot C$	0,0354
Количество микроразломов	Линейная	$8,0 \cdot A + 48,4 \cdot B + 15,4 \cdot C$	0,0002
<i>L</i>	Линейная	$58 \cdot A - 157,9 \cdot B - 22,3 \cdot C$	0,0130
<i>a</i>	Линейная	$13,8 \cdot A + 260 \cdot B + 84,2 \cdot C$	0,0026
<i>b</i>	Линейная	$17,1 \cdot A + 142 \cdot B + 145,8 \cdot C$	0,0001<
Фенольные соединения, мкг/г	Линейная с взаимодействием	$156,6 \cdot A - 86707 \cdot B - 12481 \cdot C + 108346 \cdot A \cdot B + 12991,8 \cdot A \cdot C + 114018 \cdot B \cdot C$	0,0002
Вязкость, Па·с	Линейная с взаимодействием	$2,7 A + 272,1 \cdot B - 442,9 \cdot C - 307,2 \cdot A \cdot B + 485,4 \cdot A \cdot C + 308,9 \cdot B \cdot C$	0,0286

Все варианты смесей экструдировались при стабильных режимах при температуре 150–160 °С, давлении 2,4–3,0 МПа.

В Таблице 2 представлены полученные с использованием пакета программ адекватные математические модели ( $p < 0,05$ ) параметров удельной механической энергии экструзии как комплексного показателя воздействия сдвиговых деформаций на сырье и физико-химических показателей экструдатов. Значения управляющих факторов — содержание компонентов смеси представлены в виде десятичных дробей и варьируются в диапазонах: крупа рисовая 0,84...1,0, гидролизат жмыха брусники 0...0,08, гидролизат дрожжевой биомассы 0...0,08.

**Влияние состава смеси на изменение удельной механической энергии экструзии**

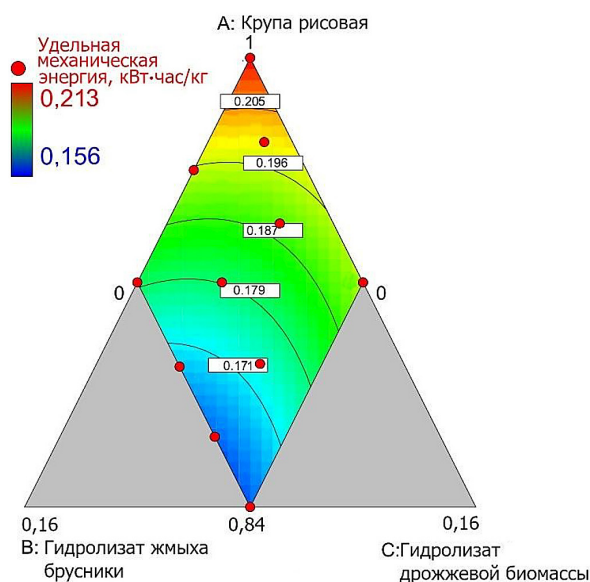
Показателем механического воздействия сил сдвиговых деформаций в процессе экструдирования является удельная механическая энергия. Графическая интерпретация математической модели удельной механической энергии, изменения которой были обусловлены варьированием содержания компонентов в смеси, представлена на Рисунке 2 в виде линий равного уровня.

**Рисунок 2**

Изменение удельной механической энергии экструзии

**Figure 2**

Changes in Specific Mechanical Energy of Extrusion



*Примечание.* (A;B;C) — содержание компонентов в смеси в размерности десятичных дробей, где А — крупа рисовая, В- гидролизат жмыха брусники, С — гидролизат дрожжевой биомассы

*Note.* (A; B; C) — content of components in a mixture in decimal fractions, where A is broken rice, B is lingonberry pomace hydrolysate, and C is yeast biomass hydrolysate.

Анализ модели и характер линий равного уровня показывают, что с введением в смесь гидролизатов удельная механическая энергия снижается и при их максимальном содержании изменяется с 0,214 до 0,163 кВт·час/кг. Интенсивность снижения смещена в сторону гидролизатов жмыха брусники. При максимальной дозировке жмыха брусники без добавления гидролизата дрожжевой биомассы удельная механическая энергия составляла 0,181 кВт·час/кг, в обратной ситуации — 0,197 кВт·час/кг.

**Влияние состава смеси на структурно-механические показатели экструдатов**

Варьирование дозировки гидролизатов значительно влияет на коэффициент расширения экструдатов и насыпную плотность их помолов, графики изменения которых представлены на Рисунке 3.

Максимальный коэффициент расширения соответствует максимальной дозировке гидролизата дрожжевой биомассы без внесения гидролизата жмыха и составил в опыте 11,5–11,7. При макси-

мальных дозировках гидролизатов коэффициент расширения снижается до значения 8,2. Насыпная плотность помолов также определяется изменением дозировки высушенных гидролизатов, внесение гидролизата жмыха брусники снижает насыпную плотность до 803 г/дм<sup>3</sup>, внесение гидролизата дрожжей увеличивает до 896 г/дм<sup>3</sup>, насыпная плотность экструдата из основного ингредиента, дробленой рисовой крупы, 870 г/дм<sup>3</sup>. Внесение обоих гидролизатов в экструдированную смесь частично компенсирует обе тенденции и при их максимальной дозировке насыпная плотность помола составила 830 г/дм<sup>3</sup>.

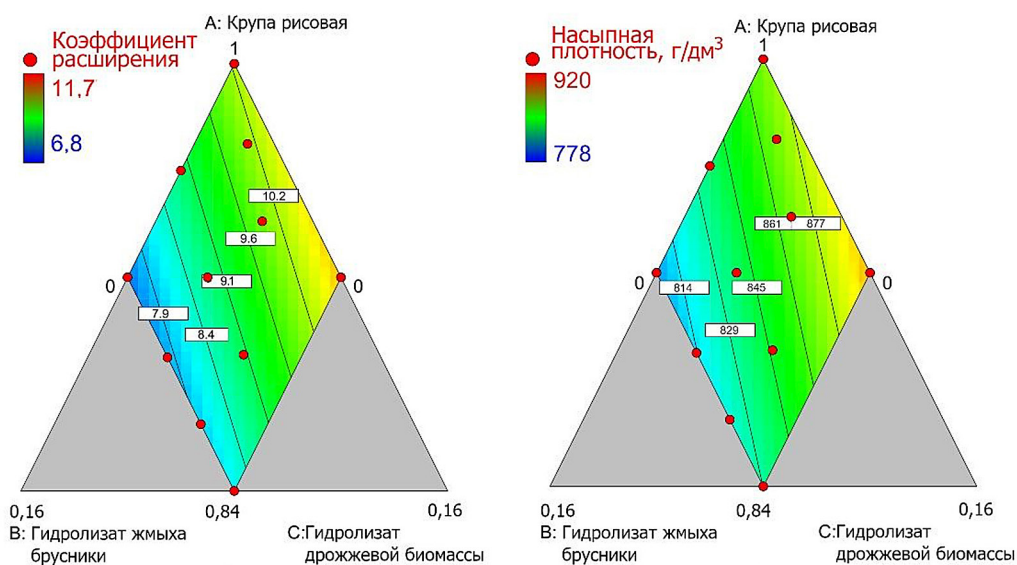
На Рисунке 4 представлены графики изменения показателей текстуры экструдатов. Твердость экструдата из смеси со 100% рисовой крупы составила 15,8 Н, добавление гидролизатов снижает этот параметр до 6,2 Н. Влияние содержания гидролизата жмыха брусники в экструдированной смеси для снижения твердости более значимо. При внесении только одного из гидролизатов в максимальной дозировке гидролизата жмыха брусники соответствует значению твердости 9,7 Н, гидролизата

**Рисунок 3**

Изменение коэффициента расширения и насыпной плотности помола экструдата

**Figure 3**

Changes in the Expansion index and Bulk Density of Ground Extrudates



Примечание. (А;В;С) — содержание компонентов в смеси в размерности десятичных дробей, где А — крупа рисовая, В- гидролизат жмыха брусники, С — гидролизат дрожжевой биомассы

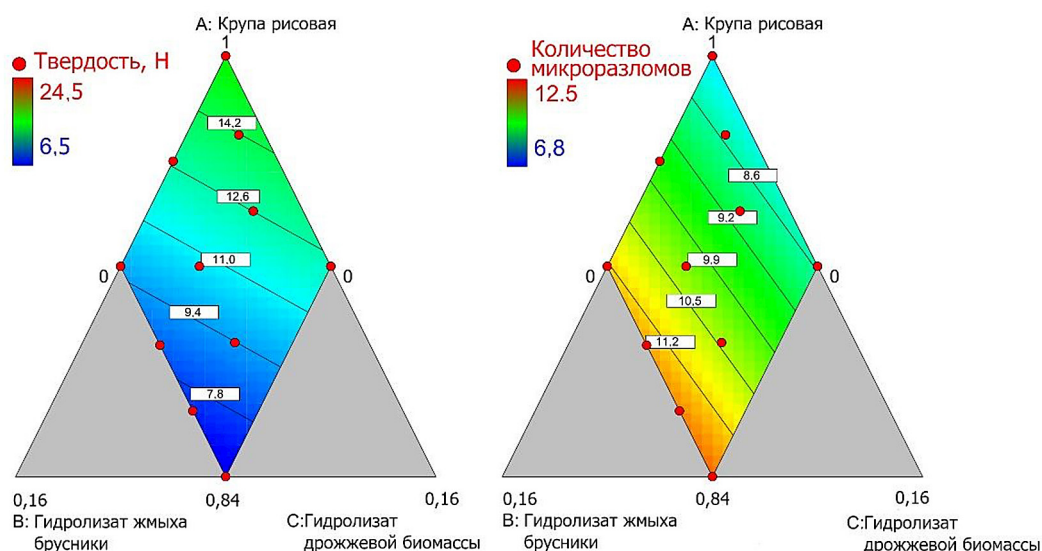
Note. (A; B; C) — content of components in a mixture in decimal fractions, where A is broken rice, B is lingonberry pomace hydrolysate, and C is yeast biomass hydrolysate.

**Рисунок 4**

Изменение показателей текстуры экструдатов

**Figure 4**

Changes in the Texture Parameters of Extrudates



*Примечание.* (А;В;С) – содержание компонентов в смеси в размерности десятичных дробей, где А – крупа рисовая, В- гидролизат жмыха брусники, С – гидролизат дрожжевой биомассы

*Note.* (A; B; C) – content of components in a mixture in decimal fractions, where A is broken rice, B is lingonberry pomace hydrolysate, and C is yeast biomass hydrolysate.

дрожжевой биомассы – 12,3 Н. Количество микро-разломов как комплексный показатель пористости и хрусткости экструдированных продуктов также зависит от состава смеси. Увеличение содержания гидролизата жмыха брусники наряду со снижением твердости значительно увеличивает количество микро-разломов с 6,7 до 10,6, с добавлением гидролизата дрожжевой биомассы происходит повышение до 11,8.

### Влияние состава смеси на цветовые характеристики экструдатов

Тенденции изменения цветовых характеристик экструдатов представлены на Рисунке 5. Увеличение содержания гидролизатов снижает показатель светлоты с 58 до 34, при этом в большей степени оказывает влияние добавление гидролизата жмыха. Повышение содержания в рецептуре смеси этого ингредиента также значительно увеличивает значение хроматической составляющей  $a^*$  в область красного цвета, с 13,8 до 32,4, а с добавлением гидролизата дрожжевой биомассы отмечается рост до 39,1.

На изменение хроматической составляющей  $b^*$  оба гидролизата оказывают практически одинаковое влияние, что подтверждается близостью значений коэффициентов содержания гидролизатов в соответствующей линейной модели. Хроматическая составляющая  $b^*$  с добавлением гидролизатов увеличивается в сторону желтого цвета с 17,1 до 37,4. Изменение цвета в область красного с увеличением содержания гидролизата жмыха брусники обусловлено повышением концентрации антоцианов брусники. Зависимость содержания фенольных соединений в экструдатах от соотношения компонентов в смеси представлена на Рисунке 6.

### Влияние состава смеси на содержание фенольных соединений в экструдатах

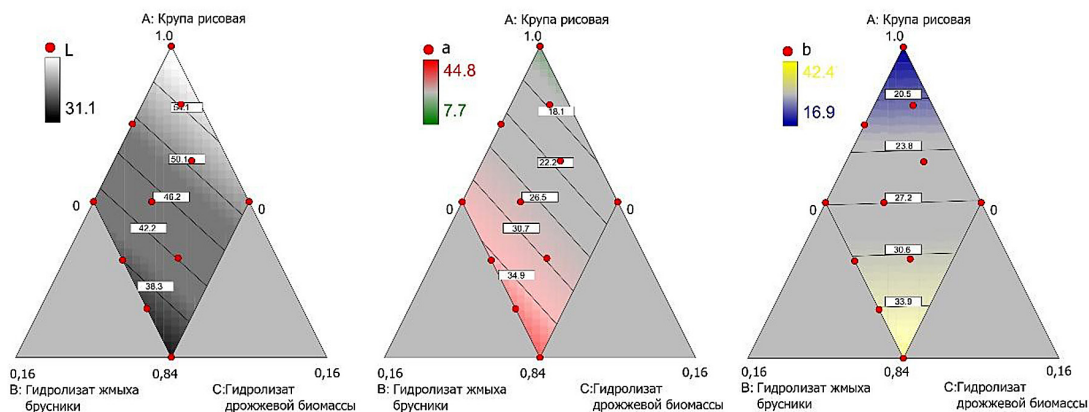
Рост содержания фенольных соединений с увеличением внесения гидролизата жмыха брусники до 8% в смеси происходит с 57,2 мкг/г экструдата до 1155,6...1264,2 мкг/г. Изменение содержания гидролизата дрожжевой биомассы на количество фенольных соединений в экструдате значимого влияния не оказывает.

**Рисунок 5**

Изменение цветных характеристик экструдатов

**Figure 5**

Changes in the Color Characteristics of Extrudates



*Примечание.* (A;B;C) – содержание компонентов в смеси в размерности десятичных дробей, где А – крупа рисовая, В- гидролизат жмыха брусники, С – гидролизат дрожжевой биомассы

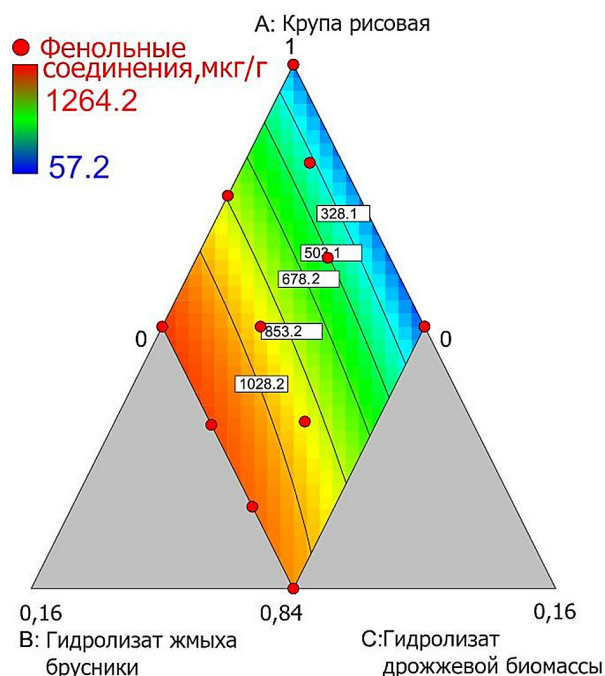
*Note.* (A; B; C) – content of components in a mixture in decimal fractions, where A is broken rice, B is lingonberry pomace hydrolysate, and C is yeast biomass hydrolysate.

**Рисунок 6**

Изменение содержания фенольных соединений

**Figure 6**

Changes in the Phenolic Compounds of Extrudates



*Примечание.* (A;B;C) – содержание компонентов в смеси в размерности десятичных дробей, где А – крупа рисовая, В- гидролизат жмыха брусники, С – гидролизат дрожжевой биомассы

*Note.* (A; B; C) – content of components in a mixture in decimal fractions, where A is broken rice, B is lingonberry pomace hydrolysate, and C is yeast biomass hydrolysate.

## Влияние состава смеси на динамическую вязкость суспензий экструдатов

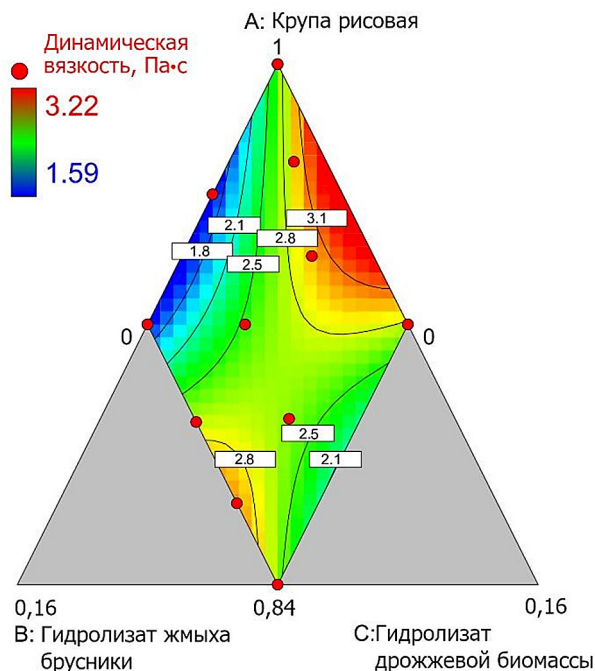
Важным показателем экструдатов, помолы, которые могут использоваться как ингредиент при составлении рецептов каш быстрого приготовления, является динамическая вязкость суспензий, моделирующих заваривание подобных продуктов. Характер влияния компонентов рецептуры на изменение динамической вязкости, представленный на Рисунке 7, имеет сложный характер и определяется, по-видимому, реологическими и гидратирующими характеристиками биополимеров, входящих в их состав. Минимальная область вязкости отмечена для экструдатов с добавлением гидролизата жмыха брусники с минимальным или без добавле-

**Рисунок 7**

Изменение динамической вязкости суспензий с помолками экструдатов

**Figure 7**

Change in Dynamic Viscosity of Suspensions of Ground Extrudates



*Примечание.* (A;B;C) – содержание компонентов в смеси в размерности десятичных дробей, где А – крупа рисовая, В- гидролизат жмыха брусники, С – гидролизат дрожжевой биомассы

*Note.* (A; B; C) – content of components in a mixture in decimal fractions, where A is broken rice, B is lingonberry pomace hydrolysate, and C is yeast biomass hydrolysate.

ния гидролизата дрожжевой биомассы и составляет 1,6–2,1 Па·с. Области высокой вязкости характерны для увеличения содержания гидролизатов дрожжевой биомассы, в том числе и при наличии гидролизата жмыха в рецептуре. Максимальное значение вязкости составляло 3,22 Па·с.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В литературе данные по использованию гидролизатов в технологии экструзии практически не представлены, и комплексного знания о тенденциях изменения технологических, структурно-механических свойств экструдатов с такими компонентами не сформировано. Тем не менее, результаты нашего исследования с использованием гидролизатов ягодного жмыха и дрожжевой биомассы согласуются с выводами предыдущих исследований, в которых используются непрогидролизованые субстраты (Lai et al., 1985; Kumar et al., 2013), Kaisangsri et al., 2015; Høglund et al., 2018; Wang et al., 2019; Smid et al., 2021).

При подготовке эксперимента были проведены предварительные тесты, позволившие определить рабочие диапазоны внесения функциональных ингредиентов. И уже при практической реализации D-оптимального плана было установлено, что все смеси экструдировались стабильно, экструдаты имели высокопористую текстуру, хорошо растворялись в воде, то есть обладали ожидаемыми характеристиками.

Выбор ингредиентов в нашем исследовании был обусловлен поставленной целью – получением продуктов с высоким содержанием фенольных соединений, пищевых волокон и белка в легкоусвояемой форме. Содержание в экструдированной смеси более 5 % гидролизата жмыха брусники обеспечивало содержание пищевых волокон в экструдате более 6 г/100 г, что является отличительным признаком продукта с высоким содержанием пищевых волокон. Дополнительное внесение гидролизата дрожжевой биомассы в смесь позволяет получить такое содержание белка, вклад которого в энергетическую ценность составляет 12 %, что соответствует отличительному признаку «источник белка».

Верхние пределы внесения функциональных ингредиентов 8 % являются достаточными для обе-

спечения высокой пищевой ценности и функциональности экструдатов, но важно отметить естественное ограничение на дальнейшее увеличение их содержания в смеси для достижения отличительного признака «высокое содержание белка» (более 20% вклада в энергетическую ценность). Прежде всего это ограничение относится к гидролизату дрожжевой биомассы из-за отрицательного влияния на органолептические характеристики экструдатов при высокой норме закладки ингредиента более 10%.

В контексте физико-химических свойств вносимые в смесь функциональные ингредиенты являются наполнителями дисперсной фазы и в отличие от структуроформирующего крахмалсодержащего сырья могли нести риски нестабильного процесса экструзии и получения продуктов, не соответствующих признакам готовых к употреблению.

Результаты экспериментальной работы показали, что несмотря на различия химического состава гидролизатов жмыха брусники и дрожжевой биомассы их внесение в смесь и увеличение содержания снижали значение удельной механической энергии, которая является комплексным системным показателем экструзии, определяющим степень механического воздействия на сырье. Повышение значений удельной механической энергии в процессе экструзии положительно коррелирует с повышением степени клейстеризации крахмала, денатурации белка (Pismag et al., 2024), а также затратами электрической энергии на переработку. В нашем опыте ее снижение как при раздельном добавлении ингредиентов, так и совместно - с 0,214 до 0,163 кВт·час/кг объясняется снижением сил трения в камере экструдера, т.е. высушенные гидролизаты обеспечивают эффект смазки между частицами смеси и шнековыми органами при экструдировании. Это согласуется с результатами аналогичных исследований: при добавлении гидролизата дрожжевой биомассы в обойную пшеничную муку (Шариков и соавт., 2023), при переработке смесей зернового сырья и высушенного жмыха черники (Hoglund et al., 2018).

Полученные экструдаты с функциональными ингредиентами в составе являются основой для специализированных продуктов питания различного типа: снеков, диетических хлебцев, каш быстрого приготовления. Каждому виду продукта

в аспекте потребительских свойств предъявляются специфические требования в отношении структурно-механических и реологических характеристик. Особенно это актуально для специальных целевых аудиторий потребителей. Например, для геродиетического питания продукты должны обладать меньшей твердостью

Выбранные уровни внесения функциональных ингредиентов в виде гидролизатов не оказали негативного влияния на структурно-механические свойства. С увеличением содержания обоих гидролизатов показатель твердости снизился с 15,8 до 6,2 Н. Аналогичные тенденции снижения твердости установлены в исследованиях по добавлению белкового концентрата дрожжей в смесь с пшеничным крахмалом (Lai et al., 1985), высушенного жмыха аронии черноплодной (Smid et al., 2021), жмыха моркови (Kaisangsri et al., 2015). При этом отмечено увеличение количества микроразломов при проколе, что является характеристикой пористости или хрусткости продукта. Характер полученных математических моделей и анализ их графического представления показывают, что более значимое влияние на структурно-механические свойства экструдатов оказывает содержание гидролизата жмыха брусники, основного источника пищевых волокон в смеси. В отношении роста количества микроразломов повышение пористости объясняется функцией нерастворимых частичек гидролизатов, в основном пищевых волокон, являющихся дисперсной фазой и центрами взрывного парообразования на выходе стренга экструдата из камеры экструдера под давлением (Robin et al., 2012; Wang et al., 2019). Соответственно, с увеличением количества таких центров поры распределяются в объеме экструдата более равномерно и в большем количестве, что и может быть причиной снижения твердости экструдата (Kumar et al., 2013). В эксперименте отмечено, что рост количества пищевых волокон через внесение гидролизата жмыха брусники снижает коэффициент расширения. Это согласуется с ранее полученными результатами (Wang et al., 2019; Smid et al., 2021). Установлено, что коэффициент расширения положительно коррелирует с увеличением содержания дрожжевого гидролизата. Максимальные значения коэффициента расширения 11,5–11,7 соответствуют максимальной дозировке гидролизата дрожжевой биомассы без внесения гидролизата жмыха брусники.

При использовании помолов экструдатов в качестве основы для смесей каш быстрого приготовления важным показателем является динамическая вязкость их суспензий, как показатель консистенции, определяющий восприятие текстуры каш, интенсивность их вкуса (Mburu et al., 2011). Ориентиром по динамической вязкости для полужидких продуктов, детских каш является диапазон 2,5...3,0 Па·с (Akande et al., 2017). Значения вязкости коммерческих образцов каш быстрого приготовления, приобретенных в торговых сетях, находятся в еще более широком диапазоне 0,49–6,9 Па·с (Шариков и др., 2024b). В результате заваривания горячей водой помолов экструдатов с гидролизатами жмыха брусники и дрожжевой биомассы в качестве имитации приготовления каш в бытовых условиях были получены суспензии с вязкостью 2,3...3,2 Па·с, что практически совпадает с рекомендациями к детским кашам, и близко к средним значениям вязкости коммерческих каш.

Сохранность фенольных соединений при экструдировании растительного сырья определяется множеством факторов: типом сырья, конструктивными особенностями экструдеров и режимами процесса переработки (Šárka et al., 2021). Гидротермомеханические режимы экструзии могут вызывать потери антиоксидантов (Mironeasa et al., 2023). Предварительный ферментативный гидролиз жмыхов перед их экструзией в составе смесей с крахмалсодержащим сырьем влияет на содержание фенольных соединений в экструдатах. Биокаталитическая обработка способствует разрушению матрикса клеточной стенки и высокомолекулярных сложных фенолов, этот эффект усиливается экструзией при высоких температурах, и в результате экстрагируемость фенольных соединений значительно повышается. Варьирование режимами экструзии показало увеличение содержания фенольных соединений с 241,1 до 631,5 мг/кг экструдата с 5% добавлением гидролизата жмыха аронии черноплодной (Шариков и др., 2024a). В условиях нашего эксперимента внесение гидролизата дрожжевой биомассы незначительно повышало содержание фенольных соединений с 57...61 мкг/г до 85...101 мкг/г экструдата. Внесение гидролизата жмыха брусники в количестве до 8% кратно увеличивало концентрацию фенольных соединений до 1258...1261 мкг/г. Сохранность и увеличение со-

держания фенольных соединений с повышением содержания гидролизата жмыха брусники коррелирует со смещением цветовой хроматической составляющей  $a^*$  в область красного цвета с 13,8 до 32,4, что объясняется повышением концентрации антоцианов брусники в экструдатах. Необходимо отметить, что в нашей работе приведена общая оценка содержания фенольных соединений без изучения изменения их качественного состава. Но поскольку состав экструдированной смеси влияет на режимы экструзии, которые в свою очередь определяют степень термомеханического воздействия на пищевые вещества, логичным продолжением исследования в будущем мог бы стать анализ влияния параметров процесса на качественный и количественный состав фенольных соединений в экструдатах.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вопросы использования в технологии экструзии функциональных пищевых ингредиентов в виде гидролизатов остаются мало изученными. Проведенные исследования подтвердили гипотезу о возможности разработки специализированных диетических продуктов экструзионной технологии с внесением в рецептуры в качестве функциональных ингредиентов гидролизатов ягодных жмыхов и дрожжевой биомассы до 8% без ухудшения их технологических и потребительских характеристик. При этом использование гидролизатов обеспечивает получение экструдатов, соответствующих требованиям к специализированным диетическим продуктам с высоким содержанием пищевых волокон, с высоким содержанием фенольных соединений<sup>4</sup>.

Полученные математические модели изменения физико-химических и технологических показателей экструдатов в зависимости от содержания в рецептуре гидролизатов жмыха брусники и дрожжевой биомассы позволяют моделировать экструдированные продукты с заданными пищевой ценностью и структурно-механическими, гидратационными характеристиками. Установленные закономерности могут послужить методологической основой для разработки специализированных продуктов, готовых к употреблению, с добавлением вкусо-ароматических компонентов.

<sup>4</sup> Порядок проведения исследований эффективности специализированной диетической лечебной и диетической профилактической пищевой продукции (Методические указания). 2016. <https://mosgorzdrav.ru/ru-RU/document/default/download/304.html>

## АВТОРСКИЙ ВКЛАД

**Антон Юрьевич Шариков:** концептуализация; разработка методологии исследования; формальный анализ; создание рукописи и её редактирование.

**Елена Николаевна Соколова:** проведение исследования; верификация данных.

**Владислав Витальевич Ионов:** проведение исследования.

**Мария Валентиновна Амелякина:** проведение исследования; редактирование рукописи.

**Елена Михайловна Серба:** руководство исследованием.

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

**Anton Yu. Sharikov:** conceptualization, methodology, formal analysis, writing — review & editing.

**Elena N. Sokolova:** investigation; validation.

**Vladislav V. Ionov:** investigation.

**Maria V. Amelyakina:** investigation; writing — editing.

**Elena M. Serba:** supervision.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Волкова, Г.С., Соколова, Е.Н., Ионов, В.В., Юраскина, Т.В., & Серба, Е.М. (2023). Перспективные направления переработки ягодного жмыха в пищевые ингредиенты. *Пищевая промышленность*, (11), 35–39. <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.11.11.008>

Volkova, G. S., Sokolova, E. N., Ionov, V. V., Yuraskina, T.V., & Serba, E.M. (2023). Prospective directions of berry cake processing into food ingredients. *Food Industry*, (11), 35–39. (In Russ.) <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.11.11.008>

Денисенко, Т.А., Вишникин А.Б., & Цыганок, Л.П. (2015). Спектрофотометрическое определение суммы фенольных соединений в растительных объектах с использованием хлорида алюминия, 18-молибдодифосфата и реактива Фолина-Чокальтеу. *Аналитика и контроль*, 19(4), 373–380. <https://doi.org/10.15826/analitika.2015.19.4.012>

Denisenko, T.A., Vishnikin, A.B., & Cyganok, L.P. (2015). Spectrophotometric determination of sum of phenolic compounds in plants using aluminum chloride, 18-molybdodiphosphate and Folin-Ciocalteu reagents. *Analitika i Kontrol'*, 19(4), 373–380. (In Russ.) <https://doi.org/10.15826/analitika.2015.19.4.012>

Лютикова, М. Н., & Ботиров, Э. Х. (2015). Химический состав и практическое применение ягод брусники и клюквы. *Химия растительного сырья*, (2), 5–27. <https://doi.org/10.14258/jcprm.201502429>

Lyutikova, M.N., & Botirov, E.Kh. (2015). The chemical composition and the practical application of berries cranberries and cranberry. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, (2), 5–27. (In Russ.) <https://doi.org/10.14258/jcprm.201502429>

Серба, Е.М., Юраскина, Т.В., Римарева, Л.В., Ревякина, В.А., Медриш, М.Э., & Погоржельская, Н.С. (2022). Ферментолитат *Saccharomyces cerevisiae*: научно-

практическое обоснование использования в качестве биологически активной добавки. *Биотехнология*, 38(4), 107–113. <https://doi.org/10.56304/S0234275822040123>

Serba, E. M., Yuraskina, T.V., Rimareva, L.V., Revyakina, V.A, Medrish, M.E., & Pogorzhel'skaya N.S. (2022). *Saccharomyces cerevisiae* enzymatic hydrolysate: Scientific and practical substantiation of its use as a biologically active supplement. *Biotekhnologiya*, 38(4), 107–113. (In Russ.) <https://doi.org/10.56304/S0234275822040123>

Тутельян, В.А. (2021). Здоровое питание для общественного здоровья. *Общественное здоровье*, 1(1), 56–64. <https://doi.org/10.21045/2782-1676-2021-1-1-56-64>

Tutelyan, V.A. (2021). Healthy food for public health. *Public Health*, 1(1), 56–64. (In Russ.) <https://doi.org/10.21045/2782-1676-2021-1-1-56-64>

Шариков, А.Ю., Поливановская, Д.В., Серба, Е.М., Амелякина, М.В., & Соколова, Е.Н. (2023) Использование гидролизата дрожжевой биомассы в технологии зерновых. *Вестник КрасГАУ*, 201(12), 267–275. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-12-267-275>

Sharikov, A.Yu., Polivanovskaya, D.V., Serba, E.M., Amelyakina, M.V., & Sokolova, E.N. (2023) Using yeast biomass hydrolyzate in the grain extrudate technology. *The Bulletin of KrasGAU*, 12(201), 267–275. (In Russ.) <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2023-12-267-275>

Шариков, А.Ю., Иванов, В.В., Амелякина, М.В., Соколова, Е.Н., Ионов, В.В., & Серба, Е.М. (2024а). Влияние влагосодержания на режимы экструзии и физико-химические показатели экструдатов с добавлением ферментолитата жмыха аронии черноплодной. *Российская сельскохозяйственная*

- наука, (3), 66–71. <https://doi.org/10.31857/S2500262724030135>
- Sharikov, A.Y., Ivanov, V.V., Amelyakina, M.V., Sokolova, E.N., Ionov, V.V., & Serba E.M. (2024a) The influence of moisture content on extrusion modes and physicochemical parameters of extrudates with the addition of chokeberry pomace hydrolysate. *Rossijskaâ sel-skohozâjstvennaâ nauka*, (3), 66–71. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S2500262724030135>
- Шариков, А.Ю., Поливановская, Д.В., Амелякина, М.В., Туршатов, М.В., Соловьев, А.О. & Абрамова, И.М. (2024b). Разработка технологии каш быстрого приготовления на основе экструдатов дробленого риса и барды топинамбура. *Пищевая промышленность*, (10), 58–63. <https://doi.org/10.52653/PPI.2024.10.10.011>
- Sharikov, A.Yu., Polivanovskaya, D.V., Amelyakina, M.V., Turshatov, M.V., Solovyev, A.O., & Abramova, I.M. (2024b). Development of technology for instant porridges based on extrudates of rice and distillery stillage of Jerusalem artichoke. *Food industry*, (10), 58–63. (In Russ.) <https://doi.org/10.52653/PPI.2024.10.10.011>
- Akande, O.A., Nakimbugwe, D., & Mukisa, I.M. (2017) Optimization of extrusion conditions for the production of instant grain amaranth-based porridge flour. *Food Science & Nutrition*, (5), 1205–1214. <https://doi.org/10.1002/fsn3.513>
- Alam, M. S., Kaur, J., Khaira, H., & Gupta, K. (2015). Extrusion and extruded products: Changes in quality attributes as affected by extrusion process parameters: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(3), 445–473. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.779568>
- Brennan, M.A., Derbyshire, E.J., Tiwari, B.K., & Brennan, C.S. (2013). Ready-to-eat snack products: The role of extrusion technology in developing consumer acceptable and nutritious snacks. *International Journal of Food Science and Technology*, 48(5), 893–902. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12055>
- Carneiro, A. F., Carneiro, C. N., de N Pires, L., Teixeira, L.S.G., Azcarate, S. M., & de S Dias, F. (2020). D-optimal mixture design for the optimization of extraction induced by emulsion breaking for multielemental determination in edible vegetable oils by microwave-induced plasma optical emission spectrometry. *Talanta*, 219, 121218. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2020.121218>
- Delić, J., Ikončić, P., Jokanović, M., Peulić, T., Ikončić, B., Banjac, V., Vidosavljević, S., Stojkov, V. & Hadnađev, M. (2023). Sustainable snack products: Impact of protein- and fiber-rich ingredients addition on nutritive, textural, physical, pasting and color properties of extrudates. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 87, 103419. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103419>
- Gat, Y., & Ananthanarayan, L. (2015). Physicochemical, phytochemical and nutritional impact of fortified cereal-based extrudate snacks: Effect of underutilized legume flour addition and extrusion cooking. *Nutrafoods*, 14, 141–149. <https://doi.org/10.1007/s13749-015-0036-7>
- Grasso, S. (2020). Extruded snacks from industrial by-products: A review. *Trends in Food Science & Technology*, (99), 284–294. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.012>
- Guy, R. (Ed.). (2001). *Extrusion cooking: technologies and applications* (vol. 61). Woodhead publishing.
- Höglund, E., Eliasson, L., Oliveira, G., Almlí, Vale, L., Sozer, N., & Alminger, M. (2018) Effect of drying and extrusion processing on physical and nutritional characteristics of bilberry press cake extrudates. *LWT – Food Science and Technology*, 92(5), 422–428. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.042>
- Iqbal, A.S., Shulz, P., & Rizvi, S. (2021) Valorization of bioactive compounds in fruit pomace from agro-fruit industries: Present Insights and future challenges. *Food Bioscience*, 44, 101384. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101384>
- Jach, M.E., Serefko, A., Ziaja, M., & Kieliszek, M. (2022) Yeast Protein as an Easily Accessible Food Source. *Metabolites*, 12(1), 63. <https://doi.org/10.3390/metabo12010063>
- Kaisangsri, N., Kowalski, R., Wijesekara, I., Kerdchoechuen, O., Laohakunjit, N. & Ganjyal, G. (2015). Carrot pomace enhances the expansion and nutritional quality of corn starch extrudates. *LWT – Food Science and Technology*, 68, 391–399. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.016>
- Kitrytė, V., Kavaliauskaitė, A., Tamkutė, L., Pukalskienė, M., Syrpa, M., & Venskutonis, P.R. (2020) Zero waste biorefining of lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) pomace into functional ingredients by consecutive high pressure and enzyme assisted extractions with green solvents. *Food chemistry*, 322, 126767. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126767>
- Krawęcka, A., Sobota, A., & Sykut-Domańska, E. (2019). Functional cereal products in the diet for type 2 diabetes patients. *International Journal of Food Science*, 2019, 4012450. <https://doi.org/10.1155/2019/4012450>
- Kumar, R., Sharma, H., & Kumar, N. (2013). Development and characterization of apple pomace and rice flour based extrudates. *International Journal of Postharvest Technology and Innovation*, 3(3), 285–303
- Lai, C.S., Davis, A.B., & Hosney, R.C. (1985). Effect of yeast protein concentrate and some of its components on starch extrusion. *Cereal Chemistry*, 62(4), 293–300.
- Mburu, M.W., Gikonyo, N.K., Kenji, G.M., & Mwasaru A.M. (2011). Properties of a complementary food based on amaranth grain (*Amaranthus cruentus*) grown in Kenya. *Journal of Agriculture and Food Technology*, 12(2), 5959–5977.
- Michalska-Ciechanowska, A. (2019). A review of new directions in managing fruit and vegetable processing by-products. *Trends in Food Science & Technology*, 88, 207–219. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.03.021>
- Mironeasa, S., Coțovanu, I., Mironeasa, C., & Ungureanu-Iuga, M. (2023). A Review of the changes produced by extrusion cooking on the bioactive compounds from vegetal sources. *Antioxidants*, 12(7), 1453. <https://doi.org/10.3390/antiox12071453>
- Pismag, R.Y., Rivera, J.D., Hoyos, J.L, Bravo, J.E., & Roa, D.F. (2024) Effect of extrusion cooking on physical and thermal properties of instant flours: A review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, 1398908. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1398908>

- Robin, F., Karbstein, H. & Palzer, S. (2012). Dietary fiber in extruded cereals: Limitations and opportunities. *Trends in Food Science & Technology*, 28, 23–32. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.06.008>.
- Šárka, E., Sluková, M., & Henke, S. (2021). Changes in Phenolics during Cooking Extrusion: A Review. *Foods*, 10(9), 2100. <https://doi.org/10.3390/foods10092100>
- Schmid, V., Mayer-Miebach, E., Behnlian, D., Briviba, K., Karbstein, H. & Emin, M.A. (2021). Enrichment of starch-based extruded cereals with chokeberry (*Aronia melanocarpa*) pomace: Influence of processing conditions on techno-functional and sensory related properties, dietary fibre and polyphenol content as well as in vitro digestibility. *LWT – Food Science and Technology*, 154, 112610. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112610>
- Tas, A. A., & Shah, A. U. (2021). The replacement of cereals by legumes in extruded snack foods: Science, technology and challenges. *Trends in Food Science & Technology*, 116, 701–711. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.08.016>
- Vishwakarma, S., Dalbhagat, C. G., Mandliya, S., & Mishra, H.N. (2022). Investigation of natural food fortificants for improving various properties of fortified foods: A review. *Food Research International*, 156, 111186. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111186>
- Wang, S., Gu, B.-J., & Ganjyal, G. (2019). Impacts of the inclusion of various fruit pomace types on the expansion of corn starch extrudates. *LWT – Food Science and Technology*, 110, 223–230. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.094>
- Yu, H., Liu, H., Erasmus, S.W., Zhao, S., Wang, Q., & van Ruth, S.M. (2021). An explorative study on the relationships between the quality traits of peanut varieties and their peanut butters. *LWT*, 151, 112068. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112068>