ISSN 1817-7204 (Print)
ISSN 1817-7239 (Online)

# ВЕСЦІ
## НАЦЫЯНАЛЬНАЙ АКАДЭМІІ НАВУК БЕЛАРУСІ

СЕРЫЯ АГРАРНЫХ НАВУК. 2026. Т. 64, № 4

# ИЗВЕСТИЯ
## НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ

СЕРИЯ АГРАРНЫХ НАУК. 2026. Т. 64, № 4

Журнал основан в январе 1963 г.

Выходит четыре раза в год

Учредитель – Национальная академия наук Беларуси

Журнал зарегистрирован в Министерстве информации Республики Беларусь,
свидетельство о регистрации № 396 от 18.05.2009

Главный редактор

**Петр Петрович Казакевич** – Президиум Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь

Редакционная коллегия:

**В. В. Азаренко** – Отделение аграрных наук Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь
(*заместитель главного редактора*)
**Е. Ф. Борисова** (*ведущий редактор*)
**С. А. Касьянчик** – Отделение аграрных наук Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь
**Д. И. Комлач** – Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси
по механизации сельского хозяйства, Минск, Беларусь
**С. А. Кондратенко** – Институт системных исследований в АПК Национальной академии наук Беларуси,
Минск, Беларусь
**С. В. Кравцов** – Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по земледелию,
Жодино, Беларусь
**А. П. Лихацевич** – Институт мелиорации, Национальная академия наук Беларуси, Минск, Беларусь
**З. В. Ловкис** – Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию,
Минск, Беларусь
**В. Л. Маханько** – Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по картофелеводству
и плодоовощеводству, Самохваловичи, Беларусь
**А. В. Мелещеня** – Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию,
Минск, Беларусь
**В. К. Пестис** – Гродненский государственный аграрный университет, Гродно, Беларусь

**А. В. Пилипук** – Институт системных исследований в АПК Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь
**А. И. Портной** – Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству, Жодино, Беларусь
**П. В. Расторгуев** – Институт системных исследований в АПК Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь
**В. Н. Тимошенко** – Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству, Жодино, Беларусь
**Ю. К. Шашко** – Институт почвоведения и агрохимии, Национальная академия наук Беларуси, Минск, Беларусь

Редакционный совет:

**И. М. Богдевич** – Институт почвоведения и агрохимии, Национальная академия наук Беларуси, Минск, Беларусь
**Ф. И. Василевич** – Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К. И. Скрябина, Москва, Россия
**Г. В. Гавардашвили** – Институт водного хозяйства им. Ц. Е. Мирцхулава Грузинского технического университета, Тбилиси, Грузия
**В. И. Долженко** – Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия
**А. И. Иванов** – Почвенный институт имени В. В. Докучаева, Москва, Россия
**В. М. Косолапов** – Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса, Лобня, Россия
**П. А. Красочко** – Институт экспериментальной ветеринарии им. С. Н. Вышелесского, Минск, Беларусь
**А. Б. Лисицын** – Федеральный научный центр пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН, Москва, Россия
**Я. П. Лобачевский** – Отделение сельскохозяйственных наук Российской академии наук, Москва, Россия
**А. Б. Молдашев** – Казахский научно-исследовательский институт экономики агропромышленного комплекса и развития сельских территорий, Алматы, Казахстан
**Е. Н. Седов** – Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, Жилина, Россия
**Н. И. Стрекозов** – Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста, Дубровицы, Россия
**В. Г. Сычев** – Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д. Н. Прянишникова, Москва, Россия
**И. Г. Ушачев** – Федеральный научный центр аграрной экономики и социального развития сельских территорий – Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства, Москва, Россия
**И. П. Шейко** – Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству, Жодино, Беларусь

*Журнал рецензируется. Входит в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований, включен в базу данных Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)*

*Адрес редакции:*
*ул. Академическая, 1, к. 118, 220072, г. Минск, Республика Беларусь.*
*Тел.: + 375 17 374-02-45; e-mail: agro-vesti@mail.ru*
*vestiagr.belnauka.by*

ИЗВЕСТИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ.
Серия аграрных наук. 2026. Т. 64, № 4
*Выходит на русском, белорусском и английском языках*

Редактор *Е. Ф. Борисова*
Компьютерная верстка *И. В. Счеснюк*

Подписано в печать 13.10.2026. Выход в свет 28.10.2026. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 10,23. Уч.-изд. л. 11,3. Тираж 50 экз. Заказ 203.
Цена номера: индивидуальная подписка – 16,33 руб., ведомственная подписка – 36,06 руб.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Республиканское унитарное предприятие «Издательский дом «Беларуская навука».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/18 от 02.08.2013. ЛП № 02330/455 от 30.12.2013. Ул. Ф. Скорины, 40, 220084, г. Минск, Республика Беларусь

© РУП «Издательский дом «Беларуская навука».
Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук, 2026

ISSN 1817-7204 (Print)
ISSN 1817-7239 (Online)

# PROCEEDINGS
## OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS

**AGRARIAN SERIES. 2026, vol. 64, no. 4**

The Journal was founded in 1963

Issued four times a year

Founded is the National Academy of Sciences of Belarus

The Journal was registered on May 18, 2009 by the Ministry of Information of the Republic of Belarus in the State Registry of Mass Media, reg. no. 396

*The Journal is included in The List of Journals for Publication of the Results of Dissertation Research in the Republic of Belarus and in the database of the Russian Scientific Citation Index (RSCI)*

E d i t o r - i n - C h i e f

**Petr P. Kazakevich** – Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

E d i t o r i a l B o a r d:

**Vladimir V. Azarenko** – Department of Agrarian Sciences of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus (*Deputy Editor-in-Chief*)
**Elena F. Borisova** (*Lead Editor*)
**Svetlana A. Kasyanchyk** – Department of Agrarian Sciences of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus
**Dmitry I. Komlach** – Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agriculture Mechanization, Minsk, Belarus
**Svetlana A. Kondratenko** – Institute of System Researches in the Agro-Industrial Complex of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus
**Siarhei U. Krautsou** – Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Arable Farming, Zhodino, Belarus
**Anatol P. Likhatsevich** – Institute for Land Reclamation, National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus
**Zenon V. Lovkis** – Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Foodstuff, Minsk, Belarus
**Vadim L. Makhanko** – Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Potato, Fruit and Vegetable Growing, Samokhvalovichi, Belarus
**Aleksey V. Meleshchenya** – Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Foodstuff, Minsk, Belarus
**Vitold K. Pestis** – Grodno State Agrarian University, Grodno, Belarus
**Andrey V. Pilipuk** – Institute of System Researches in the Agro-Industrial Complex of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus
**Aliaksandr I. Partny** – Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Breeding, Zhodino, Belarus
**Petr V. Rastorgouev** – Institute of System Researches in the Agro-Industrial Complex of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

**Vladimir N. Timoshenko** – Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Breeding, Zhodino, Belarus
**Yury K. Shashko** – Institute of Soil Science and Agrochemistry, National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

Editorial Council:

**Iosif M. Bogdevich** – Institute of Soil Science and Agrochemistry, National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus
**Fedor I. Vasilevich** – Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA by K. I. Skryabin, Moscow, Russia
**Givi V. Gavardashvili** – Institute of Water Management named after T. Mirtskhulava of the Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia
**Victor I. Dolzhenko** – All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Pushkin, Russia
**Andrey L. Ivanov** – V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, Russian Federation, Moscow, Russia
**Vladimir M. Kosolapov** – Federal Williams Research Centre of Forage Production and Agroecology, Lobnya, Russia
**Petr A. Krasochko** – S. N. Vyshelessky Institute of Experimental Veterinary Medicine, Minsk, Belarus
**Andrey B. Lisitsyn** – V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
**Yakov P. Lobachevsky** – Department of Agricultural Sciences of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia
**Altynbek B. Moldashev** – Kazakh Research Institute of Economy of Agro-Industrial Complex and Rural Development, Almaty, Kazakhstan
**Evgeny N. Sedov** – All-Russian Research Institute of Fruit Crop Breeding, Zhilina, Russia
**Nikolay I. Strekozov** – Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy, Russia
**Victor G. Sychev** – All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry named after D. N. Pryanishnikov, Moscow, Russia
**Ivan G. Ushachev** – Federal Research Center of Agrarian Economy and Social Development of Rural Areas – All-Russian Research Institute of Agricultural Economics, Moscow, Russia
**Ivan P. Sheyko** – Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Breeding, Zhodino, Belarus

*The Journal is included in The List of Journals for Publication of the Results of Dissertation Research in the Republic of Belarus and in the database of Russian Science Citation Index (RSCI)*

*Address of the Editorial Office:*
*1, room 118, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus.*
*Tel.: + 375 17 374-02-45; e-mail: agro-vesti@mail.ru.*
*vestiagr.belnauka.by*

PROCEEDINGS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF BELARUS.
Agrarian series, 2026, vol. 64, no. 4
*Printed in Russian, Belarusian and English*

Editor *E. F. Borisova*
Computer imposition *I. V. Schasniuk*

It is sent of the press 13.10.2026. Appearance 28.10.2026. Format 60×84 $^{1}/_{8}$. Offset paper. The press digital.
Printed pages 10,23. Publisher's signatures 11,3. Circulation 50 copies. Order 203.
Number price: individual subscription – 16,33 byn., departmental subscription – 36,06 byn.

Publisher and printing execution:
Republican unitary enterprise "Publishing House "Belaruskaya Navuka"
Certificate on the state registration of the publisher, manufacturer, distributor of printing editions No. 1/18 dated August 2, 2013. License for the press No. 02330/455 dated December 30, 2013. Address: 40, F. Scorina St., 220084, Minsk, Republic of Belarus

© RUE "Publishing House "Belaruskaya Navuka",
Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series, 2026

ISSN 1817-7204 (Print)
ISSN 1817-7239 (Online)

# *ЗМЕСТ*

## ЭКАНОМІКА

**Побединский В. П.** Стратегические направления повышения инновационной активности субъектов промышленного кормопроизводства ..... 271

## ЗЕМЛЯРОБСТВА І РАСЛІНАВОДСТВА

**Бречко Е. В.** Оценка информативности методов мониторинга чешуекрылых (Lepidoptera) и жесткокрылых (Coleoptera) вредителей запасов при хранении зерна кукурузы ..... 286
**Угурбашчичек Гонжа, Айкут Тонк Фатма.** Влияние гена карликовости *Rht5* на длину колеоптиля, некоторые агрономические и семенные признаки хлебной пшеницы *(на английском языке)* ..... 300

## ЖЫВЁЛАГАДОЎЛЯ І ВЕТЭРЫНАРНАЯ МЕДЫЦЫНА

**Вторый С. В., Гордеев В. В., Ковалёв С. В., Комоедов А. Д.** Моделирование выбросов климатически активных газов из помещений для выращивания молодняка крупного рогатого скота ..... 307

## МЕХАНІЗАЦЫЯ І ЭНЕРГЕТЫКА

**Казакевич П. П., Пилипук А. В., Артюшевский Н. В.** Современные модели развития агросервиса в Беларуси: сервисная специализация и финансовая устойчивость ..... 319
**Трофимов Ю. В., Лишик С. И., Сороко О. Л., Беспалова Е. В., Полын А. Н., Град Д. В., Слепокуров В. Е., Челяпин А. Е., Щитникова А. И., Асиненко Д. А., Захарова Н. А.** Эффективность светодиодного ультрафиолетового обеззараживания молока ..... 331

## ПЕРАПРАЦОЎКА І ЗАХАВАННЕ СЕЛЬСКАГАСПАДАРЧАЙ ПРАДУКЦЫІ

**Андрейчикова К. А., Анистратова О. В., Альшевская М. Н., Альшевский Д. Л.** Исследование показателей качества мягкого сыра в процессе хранения и обоснование его срока годности *(на английском языке)* ..... 342

ISSN 1817-7204 (Print)
ISSN 1817-7239 (Online)

# *CONTENTS*

## ECONOMICS

**Pobedinskiy V. P.** Strategic directions for improving the innovative activity of industrial feed production entities 271

## AGRICULTURE AND PLANT CULTIVATION

**Brechko E. V.** Assessment of the informative value of monitoring methods for Lepidoptera and Coleoptera stored-product pests during maize grain storage ..... 286
**Uğurbaşçiçek Gonca, Aykut Tonk Fatma**. Effects of dwarfing gene *Rht5* on coleoptile length, some agronomic and seed traits in bread wheat ..... 300

## ANIMAL HUSBANDRY AND VETERINARY MEDICINE

**Vtoryi S. V., Gordeev V. V., Kovalev S. V., Komoedov A. D.** Modeling of climate-active gas emissions from facilities for young cattle rearing ..... 307

## MECHANIZATION AND POWER ENGINEERING

**Kazakevich P. P., Pilipuk A. V., Artyushevskiy N. V.** Modern models of agricultural service development in Belarus: service specialization and financial sustainability ..... 319
**Trofimov Yu. V., Lishik S. I., Soroko O. L., Bespalova E. V., Polyn A. N., Grad D. V., Slepokurov V. E., Chelyapin A. E., Shchitnikova A. I., Asinenko D. A., Zakharova Nina A. A.** Efficiency of led ultraviolet disinfection of milk ..... 331

## PROCESSING AND STORAGE OF AGRICULTURAL PRODUCTS

**Andreychikova K. A., Anistratova O. V., Alshevskaya M. N., Alshevsky D. L.** Study of quality indicators of soft cheese during storage and justification of its shelf life ..... 342

ISSN 1817-7204 (Print)
ISSN 1817-7239 (Online)

## *ЭКАНОМІКА*
## *ECONOMICS*

УДК 636.085:001.895(476)
https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-4-271-285

Поступила в редакцию 03.03.2026
Received 03.03.2026

**В. П. Побединский**

*Институт системных исследований в АПК Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь*

# СТРАТЕГИЧЕСКИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ СУБЪЕКТОВ ПРОМЫШЛЕННОГО КОРМОПРОИЗВОДСТВА

**Аннотация.** Современное развитие мировой индустрии производства кормов для сельскохозяйственных животных определяется не только ростом производственных показателей, но и условиями устойчивого развития. Экологическая безопасность, экономическая эффективность и социальная ответственность являются важнейшими аспектами для обеспечения долгосрочной стабильности отрасли. В рамках исследования рассмотрены ключевые направления промышленного кормопроизводства, включая обеспечение безопасности кормов, питание животных, внедрение инноваций, устойчивое развитие, рынки и торговлю. Изучены приоритетные области исследований и инноваций, в том числе оптимизация эффективности использования питательных веществ, здоровье и благополучие животных, а также социально ответственное животноводство. По результатам сравнительного анализа научно-инновационной деятельности компаний – лидеров мирового рынка готовых кормов и отечественных предприятий предложены основные направления повышения инновационной активности субъектов промышленного кормопроизводства Республики Беларусь. Они включают организацию системы постоянного взаимодействия между научными организациями, передовыми лабораториями и производителями кормов. Сделан вывод о необходимости комплексного подхода к обеспечению конкурентоспособности отечественной отрасли промышленного кормопроизводства, ключевыми составляющими которого являются: проведение на системной основе научных исследований в области кормления сельскохозяйственных животных и внедрение полученных результатов в практику; формирование базы данных питательных веществ в ингредиентах кормов; разработка и предоставление цифровых решений и инструментов в области кормления.

**Ключевые слова:** субъекты промышленного кормопроизводства, эффективность использования питательных веществ, ингредиенты кормов, научные исследования и инновации в области кормления, технология ближней инфракрасной спектроскопии, цифровые сервисы в области кормления животных и производства кормов

**Для цитирования:** Побединский, В. П. Стратегические направления повышения инновационной активности субъектов промышленного кормопроизводства / В. П. Побединский // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2026. – Т. 64, № 4. – С. 271–285. https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-4-271-285

**Vadim P. Pobedinskiy**

*Institute of System Researches in the Agro-Industrial Complex of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*

# STRATEGIC DIRECTIONS FOR IMPROVING THE INNOVATIVE ACTIVITY OF INDUSTRIAL FEED PRODUCTION ENTITIES

**Abstract.** The current development of the global livestock feed industry is determined not only by improved production performance but also by sustainable development. Environmental safety, economic efficiency, and social responsibility are crucial aspects for ensuring the long-term stability of the industry. This study examines key areas of industrial feed production development, including feed safety, animal nutrition, innovation, sustainable development, markets, and trade. Priority areas for research and innovation are explored, including optimizing nutrient efficiency, animal health and welfare, and socially responsible livestock farming. Based on a comparative analysis of the research and innovation efforts of leading global feed market companies and domestic companies, key areas for enhancing the innovative activity of industrial feed producers in the Republic of Belarus are proposed, including the establishment of a system of continuous interaction between scientific organizations, leading laboratories, and feed manufacturers. A conclusion is drawn regarding the need for a comprehensive

© Побединский В. П., 2026

approach to ensuring the competitiveness of the domestic industrial feed production sector. The key components of this approach include: systematic scientific research in the field of livestock nutrition and the practical implementation of the findings; the creation of a database of nutrients in feed ingredients; and the development and provision of digital feeding solutions and tools.

**Keywords:** industrial feed production entities, nutrient efficiency, feed ingredients, scientific research and innovation in feeding, near-infrared spectroscopy technology, digital services in animal nutrition and feed production

**For citation:** Pobedinskiy V. P. Strategic directions for improving the innovative activity of industrial feed production entities. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2026, vol. 64, no. 4, pp. 271–285 (in Russian). https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-4-271-285

**Введение.** Промышленное производство готовых кормов является определяющим фактором продуктивности сельскохозяйственных животных, себестоимости продукции животноводства, конкурентоспособности производимых из нее продовольственных товаров. Анализ практики показывает, что перед предприятиями кормовой промышленности стоит задача повышения эффективности использования питательных веществ для оптимального роста, развития и поддержания жизнедеятельности животных за счет оптимизации баланса питательных веществ в рационах и возможности дополнения их кормовыми добавками.

Установлено, что ключевым направлением решения данной задачи является внедрение инноваций по результатам проведенных исследований питания животных в части удовлетворения их потребностей в питательных веществах для более интенсивного роста и обеспечения здоровья. В этой связи выявлена актуальность глубокого и всестороннего изучения приоритетных направлений развития мирового кормопроизводства, лучших мировых практик, компаний – лидеров в производстве кормов и выработки предложений по совершенствованию (трансформации) существующей модели развития отечественного кормопроизводства в части проведения исследований и внедрения инноваций для обеспечения его конкурентоспособности.

**Приоритеты мирового промышленного производства готовых кормов для сельскохозяйственных животных.** На основании анализа материалов Международной федерации кормовой промышленности (IFIF) [1], Европейской федерации производителей кормов (FEFAC) [2], Европейской ассоциации специализированных кормовых ингредиентов и их смесей (FEFANA) [3], Американской ассоциации кормовой промышленности (AFIA) [4] и Китайской ассоциации кормовой промышленности (CFIA)[1] нами систематизированы приоритеты развития данной индустрии на среднесрочную перспективу (табл. 1).

Таблица 1. **Приоритеты развития промышленного кормопроизводства в мире**

Table 1. **Priorities for the development of industrial feed production worldwide**

| Приоритетное направление | Ключевые составляющие |
|---|---|
| Безопасность кормов | Управление рисками на всех этапах цепочки поставок кормов;<br>привлечение новых и недостаточно используемых кормовых ресурсов (бывшие пищевые продукты, насекомые, водоросли, переработанные животные белки, побочные продукты различных отраслей пищевой промышленности);<br>новые направления применения кормовых добавок, включая перспективные функциональные возможности, которые поддерживают физиологическое состояние животных;<br>обеспечение соответствия требованиям к безопасности кормов, установленным нормативными правовыми актами |
| Питание животных и инновации | Улучшение здоровья и благополучия животных за счет сбалансированного по питательным веществам корма, снижающего необходимость ветеринарного лечения антибиотиками;<br>повышение эффективности питания за счет оптимизации баланса питательных веществ в рационах животных и дополнения рациона кормовыми добавками;<br>полная прозрачность в отношении состава кормов и их питательной ценности для потребителей;<br>исследования в различных областях (здоровье животных, генетика, содержание, питание), объединяющие научно-исследовательские институты и организации промышленного сектора, связанные с животноводством |

[1] CFIA: Aiming to Cultivate 3 Fortune Global 500 Companies and 10 Feed Industry Leaders with Market Capitalization Exceeding RMB 100 Billion by 2030 // Linkedin. URL: https://www.linkedin.com/pulse/cfia-aiming-cultivate-3-fortune-global-500-companies-10-doris-zhang-gcfbc (date of access: 17.02.2026).

*Окончание табл. 1*

| Приоритетное направление | Ключевые составляющие |
|---|---|
| Устойчивое развитие | Оптимизированное извлечение питательных веществ из побочных продуктов по результатам научных исследований в области питания животных;<br>разработка и применение методологии для оценки экологических показателей производства кормов |
| Рынки и торговля | Обеспечение биобезопасности – контроль цепочки поставок кормовых ингредиентов на предмет микробиологического риска;<br>снижение уязвимости в отношении доступа к сырью – зависимости от импорта соевого шрота и основных кормовых добавок (витамины и аминокислоты);<br>обеспечение продовольственной безопасности и планирование на случай чрезвычайных ситуаций;<br>биотехнология – геномные методы, применяемые для облегчения селекции новых и улучшенных сортов сельскохозяйственных культур |

Безусловным приоритетом является обеспечение безопасности кормов по следующим ключевым направлениям:

тесное сотрудничество между операторами кормового бизнеса и системами обеспечения безопасности кормов, включая диалог и обмен информацией с компетентными контролирующими органами;

привлечение кормовых ресурсов, использование которых требует всесторонней оценки рисков для здоровья животных, человека и окружающей среды, чтобы обеспечить их безопасное применение в кормовой цепочке;

новые направления применения кормовых добавок с учетом достижений в области науки о питании животных, включая функциональные возможности, которые поддерживают физиологическое состояние животных и помогают им справляться с патогенами, в результате снижая потребность в использовании антибиотиков;

оценка вероятности того, что при наличии загрязняющего вещества в корме его концентрация безопасна для животных и не оказывает негативного влияния на их продуктивность, а также рисков попадания таких опасных веществ в продукты животного происхождения в концентрациях, небезопасных для потребителей.

В области питания животных и внедрения инноваций предусматривается:

проведение комплексных исследований, ориентированных не только на продуктивность скота, но и направленных на поддержание здоровья животных, а также снижение воздействия на окружающую среду;

оптимизация баланса питательных веществ в рационах животных с учетом результатов научных исследований, способствующих значительному улучшению этого соотношения и более эффективному использованию кормов. Дальнейшему прогрессу в данном направлении будет способствовать внедрение цифровых технологий на всех уровнях агропродовольственной цепочки, позволяющих стимулировать внедрение систем точного кормления;

доступность для потребителей информации о кормовой ценности и составе кормов позволит формировать более точные рационы (рецепты) и более эффективно управлять имеющимися кормовыми ресурсами;

реализация стратегической программы исследований и инноваций – междисциплинарной научной платформы, предусматривающей исследования в различных областях (здоровье животных, генетика, их содержание и питание) и объединяющей научно-исследовательские институты, а также организации промышленного сектора, связанные с животноводством.

В рамках устойчивого развития предусматривается:

реализация концепции циркулярного кормопроизводства, включающей оптимизированное извлечение питательных веществ из побочных продуктов, которые, как правило, считаются несъедобными для человека из-за высокого содержания клетчатки и антипитательных веществ. Научные исследования в области питания животных направлены на решение вопросов эффективного использования данных ресурсов в кормопроизводстве;

для сокращения выбросов парниковых газов, связанных с животноводством, ключевым фактором является разработка рецептур кормов, обеспечивающих эффективные и измеримые решения для снижения воздействия отрасли на окружающую среду. Для разработки доступной во всем мире и постоянно развивающейся базы данных анализа жизненного цикла кормов для животных FEFAC, AFIA (США), ANAC (Канада), NSF (Норвегия) и IFIF выступили учредителями некоммерческой организации GFLI (Global Feed LCA Institute) [5], цель которой – способствовать экологическому анализу этих продуктов и стимулировать постоянное улучшение экологических показателей в отрасли питания животных. Расчет экологического следа организациями может осуществляться на основе указанной базы данных.

Приоритетными направлениями работы на рынке кормов и кормовых материалов определены:

обеспечение биобезопасности – чтобы деятельность (производство, хранение, транспортировка) не способствовала распространению патогенов;

реализация мер по увеличению производства растительных и иных белков и кормовых добавок, а также диверсификации их поставок в целях снижения зависимости от импорта высокобелковых кормовых ресурсов (соевого шрота) и основных кормовых добавок (витамины и аминокислоты);

разработка механизма реагирования на кризисы продовольственной безопасности (экстремальные погодные явления, эпизоотические проблемы в животноводстве, нехватка ключевых ресурсов, таких как удобрения, энергия и корма). Одной из мер является ежемесячный сбор данных о запасах зерновых и масличных культур у соответствующих производителей, оптовиков и операторов, что позволяет иметь своевременную информацию о наличии основных видов продовольствия и кормового сырья;

селекция новых и улучшенных сортов сельскохозяйственных культур с более высокой урожайностью, устойчивостью к болезням и другим стрессовым факторам окружающей среды.

На основании изложенного можно констатировать, что обеспечение конкурентоспособности отрасли кормопроизводства связано с проведением междисциплинарных научных исследований и внедрением инноваций в сферах производства кормов и животноводства.

В этой связи нами выделен ряд ключевых направлений исследований и инноваций: оптимизация эффективности использования питательных веществ; здоровье и благополучие животных; социально ответственное животноводство [6]. В табл. 2 приведена систематизация приоритетных областей научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ (НИОКТР).

Таблица 2. **Систематизация приоритетов НИОКТР в промышленном кормопроизводстве**

Table 2. **Classification of R&D priorities in industrial feed production**

| Приоритетная область исследований и инноваций | Темы исследований и инноваций |
|---|---|
| Оптимизация эффективности использования питательных веществ | Новые инструменты контроля и модели анализа кормов, основанные на более точной оценке поступления энергии и питательных веществ из кормов животным, с учетом потребности организма;<br>модели животных и их реакции на состав рационов;<br>новые индикаторы эффективности использования питательных веществ и разработка инновационных датчиков и интеллектуальных моделей для мониторинга и управления питанием на уровне отдельных особей, а также больших стад;<br>обеспечение индивидуального и «точного» кормления – изучение возможности адресной доставки нужных питательных веществ в оптимальный момент конкретным животным в зависимости от их физиологических характеристик, стадии развития, продуктивности, генетического потенциала |
| Здоровье и благополучие животных | Разработка инновационных методов измерения в отношении оценки здоровья кишечника и иммунитета, а также применения инновационных продуктов и состава кормов (раскрытие сложных взаимосвязей между питательными веществами, стрессовыми факторами, микробиотой и иммунной системой);<br>создание индикаторов и датчиков для отслеживания состояния здоровья отдельных особей и групп животных с целью формирования индивидуальных стратегий кормления;<br>влияние корма на здоровье молодняка;<br>влияние технологической обработки (измельчение, гранулирование) на здоровье кишечника |

*Окончание табл. 2*

| Приоритетная область исследований и инноваций | Темы исследований и инноваций |
|---|---|
| Социально ответственное животноводство | Разработка новых стратегий кормления для повышения уровня благополучия животных;<br>снижение экологического воздействия на окружающую среду (разработка практических и применимых показателей углеродного и водного следа в цепочке поставок кормовой и животноводческой продукции);<br>разработка альтернативных источников белка (насекомые, водоросли) и новых белковых культур, включая адаптированные семена сои или новые технологии извлечения белка;<br>исследования доступных ресурсов сырья, требующих дополнительной технологической обработки для соответствия требованиям безопасности кормов (например, продукты питания, которые больше не предназначены для пищевого использования) |

И с т о ч н и к: составлено автором на основе собственных исследований и источников [6–13].

S o u r c e: compiled by the author based on their own research and sources [6–13].

Внедрение цифровых технологий в кормопроизводство и животноводство приобретает особое значение в контексте точного кормления, выступающего ключевым фактором оптимизации использования питательных веществ.

***Проведение исследований, разработок и внедрение инноваций компаниями – мировыми лидерами по производству кормов.*** Изученная нами практика проведения НИОКТР и внедрения инноваций компаниями из США, ЕС, КНР и Российской Федерации, являющимися ведущими мировыми производителями кормов, позволила выявить ключевые отраслевые тренды.

Компания **Cargill** (США) наработала масштабные компетенции в различных сферах пищевой, сельскохозяйственной, финансовой и промышленной деятельности, а также является одним из мировых лидеров по производству кормов. На 211 заводах компании в 2024 г. произведено 17,5 млн т кормов.

Компания имеет 17 центров инноваций и применения технологий, где работают более 500 специалистов в области исследований и разработок. Они изучают взаимодействие различных питательных веществ с пищеварением и здоровьем животных, влияние факторов окружающей среды на эффективность преобразования корма.

Выполненная нами оценка показала значительный конкурентный потенциал созданной в компании крупнейшей в мире базы данных кормов, которая стала основой для большей части ее работы. На базе собранных данных создаются точные рецепты кормов, адаптированные к уникальным особенностям производства, с учетом вида животных, их потребностей в питательных веществах, климата, бизнес-целей и местных затрат на ингредиенты.

Это также позволило Cargill выполнять точное биологическое моделирование с учетом фактического содержания питательных веществ в текущих запасах ингредиентов. В результате составляются рецепты комбикормов, обеспечивающие максимально эффективное использование имеющихся запасов сырья. Данная система используется в молочном скотоводстве, при выращивании КРС, свиней и птицы.

Таким образом, можно констатировать, что Cargill активно внедряет цифровые технологии для укрепления здоровья животных и повышения их продуктивности. Объединяя комбикорма, добавки и цифровые решения, компания стимулирует рост бизнеса и укрепляет свой портфель продуктов, делая упор на анализ данных и искусственный интеллект.

Важно, что цифровые инструменты Cargill обеспечивают для фермеров и производителей кормов переход к динамическому моделированию, учитывающему реальные данные о составе ингредиентов, условиях содержания и продуктивности животных.

При этом значительно возрастает прозрачность данных и эффективность прогнозирования экономических параметров: производители отслеживают ключевые показатели в реальном времени, моделируют сценарии и принимают решения по оптимизации затрат на корм и улучшению продуктивности животных [7].

Важнейший результат такой работы заключается в точной оценке здоровья животных – от анализа микробиома до мониторинга физиологических параметров с помощью сенсоров и алго-

ритмов на базе искусственного интеллекта. Эти технологии выявляют отклонения в состоянии животных значительно раньше, чем традиционные методы, и позволяют оперативно корректировать рационы и уход. Следовательно, уже в настоящее время интеграция цифровых инструментов и аналитики становится конкурентным преимуществом, повышающим устойчивость и рентабельность в глобальном животноводстве.

Корпорация **Nutreco** (Нидерланды), согласно результатам анализа, является мировым лидером в области кормов для аквакультуры и питания животных. На 105 заводах данного производителя в 2024 г. произведено 9 млн т кормов. Профиль деятельности Nutreco разделен на два ключевых направления: питание животных (дочерняя компания Trouw Nutrition, Нидерланды) и аквакультура (дочерняя компания Skretting, Норвегия) [8].

Так, **Trouw Nutrition** производит широкий ассортимент специализированных кормов, кормовых добавок, премиксов, а также цифровых моделей и сервисов в области кормления. Установлено, что инновационные разработки данного подразделения сконцентрированы в сферах питания, здоровья животных и управления фермами с акцентом на максимизации их продуктивности [9].

Выявлено наличие в структуре компании следующих научно-исследовательских центров:

по разработке кормовых ингредиентов – специализируется на создании рецептур, премиксов, а также изучении эффективности ферментов, витаминов и минералов, используемых в производстве кормов;

по проведению фундаментальных и прикладных исследований, разработке инновационных решений в области кормления свиней, жвачных животных и птицы для повышения их продуктивности, включая питание (составление рационов), условия содержания и здоровье животных.

В числе ключевых преимуществ компании нами выделено наличие сети экспериментальных ферм по всему миру, где проверяются на практике эффективность и коммерческая жизнеспособность инновационных продуктов, программ и сервисов в различных климатических условиях и производственных средах. В соответствии с лучшими мировыми практиками именно такой подход обеспечивает практическую апробацию и снижает затраты на испытания.

Анализ подтверждает: как и другие лидеры, Trouw Nutrition продвигает на рынке собственные интегрированные цифровые решения и сервисы, предоставляя фермерам и специалистам по кормам практические знания о питании, улучшении рационов животных и обеспечении стабильно оптимальной продуктивности – от решений, связанных с проведением исследований кормов и сырья на основе ближней инфракрасной спектроскопии (БИК-спектроскопия), при этом возможно подключение к порталу компании, до моделирования поведения животных и специализированных программ кормления. Критически важно, по нашему мнению, то, что цифровые решения и сервисы доступны не только фермерам, но и в значительной мере комбикормовым заводам, интеграторам и консультантам по всему миру.

Второе подразделение – бренд **Skretting** – является одним из мировых лидеров в производстве и поставке кормов для аквакультуры [10].

Ключевым преимуществом следует признать созданный в компании научно-исследовательский центр аквакультуры, в котором, помимо головного офиса, организовано 11 исследовательских станций и тестовых площадок. Важно, что испытание новых решений для объектов аквакультуры проводится непосредственно в регионах их промышленного разведения.

Направления исследований объективно обоснованы и практико-ориентированы. Они включают здоровье рыбы (использование новых функциональных ингредиентов), кормление (определение пищевых потребностей разных видов рыб для создания наиболее эффективных кормовых решений) и производство кормов (повышение гибкости в выборе сырья и функциональности рецептур). Вся исследовательская система создана таким образом, что результаты оперативно воплощаются в инновационные решения для индустрии аквакультуры.

Аналогично другим ведущим компаниям разработаны собственные уникальные цифровые инновационные инструменты и комплексные сервисы для оптимизации кормления, выращивания и управления здоровьем объектов аквакультуры. Значимым преимуществом следует

признать оригинальные облачные решения для управления прудовыми хозяйствами, включая непрерывный мониторинг показателей роста и работы фермы в реальном времени и интеллектуальные кормушки.

В компании разработан не имеющий аналогов цифровой пакет, который прогнозирует динамику роста рыб и креветок и предоставляет фермерам передовые модели, оптимизирующие стратегии кормления и повышающие эффективность работы ферм в различных условиях окружающей среды.

Наряду с европейскими производителями, ведущие позиции на глобальном рынке занимают азиатские компании. Так, корпорация **Haid Group** (КНР), согласно результатам исследования, является крупнейшим в мире производителем кормов (для аквакультуры, свиней, птицы, жвачных животных) и премиксов [11]. В 2024 г. заводами компании произведено 26,52 млн т данной продукции. Аналогично другим крупным транснациональным корпорациям деятельность Haid Group диверсифицирована – компания занимается племенным животноводством и птицеводством (свиньи и куры), разведением рыб, крабов и креветок, мясопереработкой.

Ключевым активом компании является специализированный научно-исследовательский центр и более 10 пилотных научно-исследовательских баз. Нами установлено, что проводимые компанией исследования носят межотраслевой характер и включают следующие направления: генетика и селекция животных, питание и кормопроизводство, ветеринария и биофармацевтика, микробная, биохимическая и белковая инженерия. Это свидетельствует о том, что компания делает ставку на технологии как на свою главную конкурентную силу.

В результате корпорация Haid Group располагает обширной системой исследований в области питания и здоровья животных и крупнейшей базой данных по ингредиентам кормов и их питательной ценности. Решающим фактором в обеспечении лидерства компании на рынке кормов является наличие интернет-платформы для поддержки умных свиноферм, птицеферм и рыбных ферм, где объединяется информация о продуктивности, здоровье и условиях содержания животных, а также составе кормов в единую комплексную систему, позволяющую принимать точные решения в сфере кормления и менеджмента.

В свою очередь, американский рынок кормопроизводства также представлен высокотехнологичными игроками. На 77 заводах **Alltech** (США) в 2024 г. произведено 6,5 млн т кормов. Исследование показывает, что конкурентным преимуществом компании является использование технологий дрожжевой ферментации и нутригеномики при производстве кормов и кормовых добавок [12].

Применение данных инновационных технологий позволяет компании занимать лидирующие позиции в мире по предоставлению цифровых сервисов для производителей животноводческой продукции и коммерческих комбикормовых заводов, включая консультации по составлению рационов, программ кормления и внедрению биобезопасности.

Стратегическим активом Alltech являются пять биотехнологических центров и десятки исследовательских партнерств. За счет объединения передовых научных достижений с опытом работы на фермах компания предоставляет практические инструменты, повышающие продуктивность и прибыльность, а также способствующие развитию устойчивого сельского хозяйства.

Следует отметить, что Alltech является одним из мировых лидеров в применении технологии *in vitro*, которая имитирует процесс ферментации в рубце и оценивает усвояемость кормовых ингредиентов и образцов полнорационных смесей. Результаты данной оценки помогают специалистам по питанию корректировать рационы для повышения эффективности кормления и оптимизации затрат.

Ключевым ресурсом Alltech являются цифровые решения, позволяющие удаленно управлять стратегиями кормления и контролировать их с помощью мобильных устройств. Данные платформы сочетают в себе мобильное программное обеспечение для управления кормами и экспертную поддержку в области питания.

В европейском сегменте также выделяется компания **Adisseo** (Франция), которая имеет 17 производственных площадок в Европе, США, Китае и Таиланде и предлагает широкий ассортимент инновационных кормовых добавок и цифровых сервисов в области питания [13].

Фундаментальной ценностью компании являются 5 научно-исследовательских центров. На основе изученных данных можно сделать вывод, что Adisseo является одним из мировых лидеров по предоставлению цифровых сервисов, основанных на технологии БИК-спектроскопии. Для оценки характеристик кормовых ингредиентов разработаны оригинальные запатентованные калибровки на основе данных, полученных с использованием точных методов влажного химического анализа и экспериментов *in vivo*, что гарантирует высокий уровень точности прогнозов усваиваемых аминокислот и метаболизируемой энергии. Технология адаптирована ко всем основным кормовым ингредиентам.

Следует отметить, что использование сервиса позволяет прогнозировать множество характеристик, влияющих на питательную ценность, таких как сырой протеин, общее и усваиваемое количество аминокислот, метаболизируемая энергия и другие.

Также важно, что эта платформа служит инструментом не только для принятия решений специалистами по питанию и разработчиками рецептур, но и для выбора лучших поставщиков сырья (благодаря сравнительным таблицам качественных параметров поставляемых ингредиентов).

Как и иные лидеры рынка, Adisseo предлагает широкий спектр цифровых продуктов, в числе которых программный модуль, преобразующий результаты лабораторного анализа в готовые к использованию значения пищевой ценности для софта по расчету рецептур комбикормов.

В контексте развития рынка Союзного государства показателен опыт Российской Федерации, где ведущие позиции в отрасли занимают вертикально интегрированные холдинги.

**ПАО «Группа Черкизово»** является крупнейшим производителем мяса в Российской Федерации, а также занимает ведущие позиции в производстве кормовой продукции. В 2024 г. на 13 заводах компании произведено 3 млн т комбикормов.

Ключевым активом компании является Научно-испытательный центр «Черкизово» (инновационный лабораторный комплекс), в который входит Центр испытания качества кормов и продуктов животного происхождения. Важнейшими элементами данного центра являются лаборатория полного химического и физического анализа (исследование энергетической и биологической ценности, органолептических, физико-химических показателей, а также безопасности кормов) и лаборатория аминокислотного анализа [14].

Высокая точность проводимых исследований обеспечивается за счет включения лабораторий комбикормовых заводов группы в единую с научно-испытательным центром (НИЦ) сеть и направления информации о результатах БИК-анализа, а также образцов сырья и комбикормов для более углубленного анализа их питательной ценности и безопасности.

Принципиальным отличием от лидеров мировой кормовой промышленности является отсутствие у российской компании собственной базы данных питательных веществ в сырьевых компонентах. В связи с этим для получения информации о содержании перевариваемых аминокислот в ингредиентах кормов НИЦ подключен к соответствующим сервисам компаний Adisseo и Evonik (Германия). В результате анализа полученной информации принимается решение о составе комбикормов и включении в них соответствующих кормовых добавок.

По результатам рассмотрения опыта работы крупных мировых компаний по производству кормов можно констатировать, что они имеют в своем составе научно-исследовательские центры, укомплектованные квалифицированными кадрами и оснащенные современным лабораторным оборудованием, где постоянно проводятся исследования и разрабатываются новые инновационные рецепты комбикормов, премиксов, белково-витаминно-минеральных и кормовых добавок, а также изучается их влияние на продуктивность и здоровье животных (табл. 3).

Разработанные в ходе исследования инновационные решения проходят испытания и внедряются в промышленное производство.

Ключевым методом, который применяется при исследовании кормов, является спектральный анализ с помощью технологии БИК-спектроскопии. Данный метод позволяет проводить быстрый и точный анализ питательной ценности кормов, сырья и готовой продукции (комбикорма, зерновое сырье, шроты, жмыхи и другие) по таким показателям, как крахмал, протеин, сахар, клетчатка, жир, обменная энергия, переваримость и другие. Разработаны калибровки с использованием точных методов влажного химического анализа, экспериментов *in vivo* и *in vitro*.

Таблица 3. **Элементы инновационной инфраструктуры крупных производителей кормов**

Table 3. **Elements of the innovation infrastructure of major feed manufacturers**

| Наименование компании | | Научно-исследовательские | | Направления исследований | | Базы данных питательной ценности ингредиентов | | Цифровые сервисы (платформы и программные продукты) | Объем производства кормов, тыс. т | Количество заводов |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | центры | базы | Сырье и корма | Влияние кормления на здоровье и продуктивность | Собственные | Сервисы партнеров | | | |
| Cargill (США) | | + | + | + | + | + | – | + | 17 500 | 211 |
| Nutreco (Нидерланды) | Trouw Nutrition (Нидерланды) | + | + | + | + | + | – | + | 9 000 | 105 |
| | Skretting (Норвегия) | + | + | + | + | + | – | + | | |
| Haid Group (КНР) | | + | + | + | + | + | – | + | 26 520 | >40 |
| Alltech (США) | | + | + | + | + | + | – | + | 6 500 | 77 |
| Adisseo (Франция) | | + | + | + | + | + | – | + | – | 17 |
| ПАО «Группа Черкизово» (Российская Федерация) | | + | – | + | – | – | + | – | 3 000 | 13 |
| СЗАО «Серволюкс» (Республика Беларусь) | | – | – | – | – | – | + | – | >635.0 | 3 |
| ОАО «Агрокомбинат «Дзержинский» (Республика Беларусь) | | – | – | – | – | – | – | – | >360,0 | 3 |
| ОАО «Агрокомбинат «Скидельский» (Республика Беларусь) | | – | – | – | – | – | – | – | >210,0 | 3 |

Источник: составлено автором по результатам собственного исследования и данным [7–15].

Source: compiled by the author based on their own research and data [7–15].

Компаниями сформированы базы данных ингредиентов кормов, которые являются ключевым элементом, используемым для организации производства кормов и цифровых сервисов в области питания животных.

Помимо реализации продукции и экспертного сопровождения, также предлагается широкий спектр цифровых решений и инструментов, предоставляющих потребителям возможности как в управлении оптимизацией кормления животных, так и в эффективном управлении бизнесом в целом.

Также компании сотрудничают в области исследований и разработок с различными партнерами по всему миру – от государственных учреждений до ведущих университетов. Данное взаимодействие расширяет горизонты научных изысканий и приводит к появлению новых знаний для разработки высокоэффективных решений и предоставления сервисов в области питания животных и кормопроизводства.

Нами проведен анализ работы крупнейших производителей комбикормовой продукции Республики Беларусь: СЗАО «Серволюкс» (ЗАО «Экомол Агро», филиал «Краснознаменский комбикормовый завод» ОАО «Смолевичи Бройлер», ООО «Биоком») [15]; ОАО «Агрокомбинат «Дзержинский» (филиалы «Негорельский комбинат хлебопродуктов», «Вилейский комбикормовый завод», «Слуцкий комбинат хлебопродуктов»)[1]; ОАО «Агрокомбинат «Скидельский» (производство на головном предприятии, филиалы Слонимский производственно-торговый филиал (СПТФ) и филиал «Агрокомплекс «Шиловичи»)[2]. Компании представляют собой вертикально интегрированные холдинги полного цикла.

Проведенный анализ позволяет констатировать, что заводами данных агрохолдингов производится более 20 % выпускаемых в Республике Беларусь комбикормов. Производственно-технологические лаборатории предприятий оснащены современным оборудованием, на котором проводится анализ ингредиентов и готовых кормов. Эффективность комбикормов оценивается по результатам производственных испытаний на животноводческих и птицеводческих объектах самих интеграционных структур, а также сельскохозяйственных организаций-партнеров.

Следует выделить работу СЗАО «Серволюкс», которое является лидером по производству комбикормов в Республике Беларусь и внедрению инноваций в данной отрасли. Тремя заводами компании производится более 635 тыс. т комбикормовой продукции в год (более 10 % от общего объема ее выпуска в стране).

Анализ показывает, что конкурентных преимуществ компания достигает за счет применения современных инновационных практик в части контроля качества ингредиентов (определения их питательной ценности) и составления рецептов комбикормов. Экспресс-анализ сырья лабораториями данной компании осуществляется методом БИК-спектроскопии. Для получения высокоточных данных о химическом составе сырья и контроля качества готовой продукции на предприятиях холдинга выстроена система углубленного лабораторного анализа, включающая интеграцию с международными цифровыми платформами и профильными научно-исследовательскими центрами:

ЗАО «Экомол Агро» проводит анализ ингредиентов на содержание общих и усвояемых аминокислот путем подключения к сервису компании Adisseo;

филиал «Краснознаменский комбикормовый завод» проводит исследования в сотрудничестве с лабораторией ЯРВЕТ (Российская Федерация), используя методики калибровки лаборатории Rock River Lab (США).

По итогам сравнительного анализа нами отмечено отсутствие у крупнейших отечественных производителей комбикормов собственных научно-исследовательских центров, изучающих корма, здоровье и продуктивность животных, а также баз данных питательных веществ в ингредиентах кормов и цифровых сервисов по управлению кормлением.

Данная ситуация характерна в целом для отрасли производства готовых кормов для сельскохозяйственных животных Республики Беларусь.

[1] Филиалы // Агрокомбинат Дзержинский. URL: https://akd.by/filialy/ (дата обращения: 17.02.2026).

[2] Наши филиалы // Агрокомбинат Скидельский. URL: https://ghp.by/nashi-filialy (дата обращения: 17.02.2026).

В целях обеспечения конкурентоспособного развития промышленного кормопроизводства и животноводства требуется разработка соответствующей программы по развитию данных направлений.

***Направления повышения инновационной активности субъектов промышленного кормопроизводства Республики Беларусь.*** Промышленное производство готовых кормов играет ключевую роль в развитии животноводства и, соответственно, в обеспечении продовольственной безопасности Республики Беларусь.

Существенными недостатками (резервами повышения эффективности) развития отечественной отрасли кормопроизводства являются низкая инновационная активность и недостаточное использование современных цифровых технологий.

В то время как мировые лидеры индустрии создают крупнейшие базы данных по питательной ценности ингредиентов кормов и при помощи цифровых технологий повышают эффективность их использования, в Республике Беларусь данная работа должным образом не организована.

Отечественные производители реализуют, как правило, готовые корма в ассортименте. Вместе с тем отсутствуют предложения по реализации цифровых решений (в том числе платформенных), позволяющих потребителям эффективно управлять программами кормления животных, оптимизировать затраты на корма с учетом их питательной ценности, наличия запасов, конъюнктуры цен и иных параметров.

Очевидно, что дальнейшее устойчивое развитие и обеспечение конкурентоспособности отечественной отрасли промышленного кормопроизводства невозможны без адаптации лучших мировых практик, используемых компаниями-лидерами. Это, в свою очередь, требует инвестиций в исследования и внедрение инноваций.

С учетом масштабов производства и рынка готовых кормов в нашей стране, а также отсутствия у производителей кормов значительных ресурсов (финансовых, материально-технических, кадровых, информационных) для проведения масштабных исследований и внедрения инноваций нами предлагается организовать данную работу централизованно на государственном уровне в рамках специальной программы.

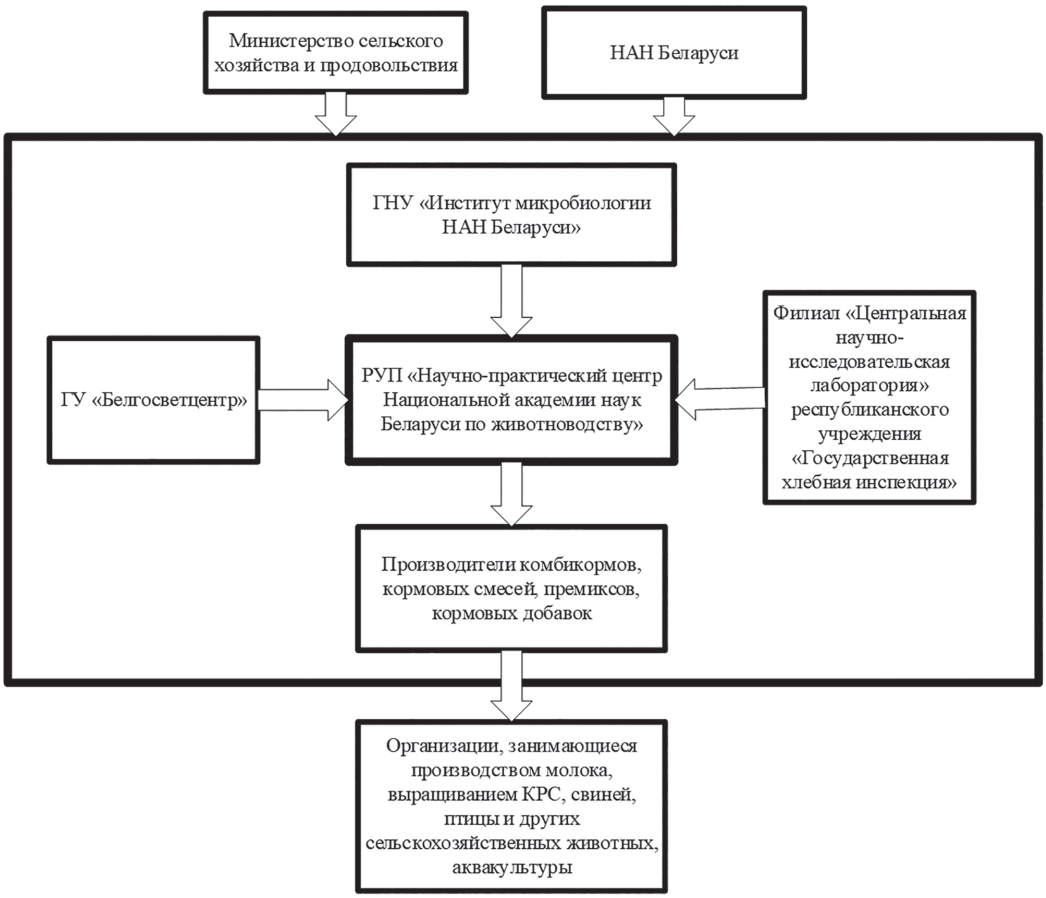
Ниже представлен разработанный нами проект трансформации системы инновационного взаимодействия промышленного кормопроизводства в Республике Беларусь (рисунок).

Ключевыми субъектами данной системы выделены следующие.

1. **РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству»**. Одним из основных направлений деятельности учреждения является разработка новых рецептур комбикормов и кормовых добавок, изыскание путей повышения эффективности трансформации энергии корма в животноводческую продукцию, а также совершенствование технологии кормления и содержания животных, птицы и рыб [16].

В составе центра данные направления изучают соответствующие лаборатории: кормовых добавок и биопродуктов; кормления молочного скота; кормления свиней; кормления и физиологии питания КРС; технологии кормопроизводства и биохимических анализов, а также дочерние предприятия – РДУП «Институт рыбного хозяйства» и РДУП «Опытная научная станция по птицеводству».

2. **Республиканское учреждение «Государственная хлебная инспекция» (филиал «Центральная научно-исследовательская лаборатория»)**. Здесь проводят испытания кормов, комбикормов и кормовых добавок: на соответствие требованиям технических нормативных правовых актов (ТНПА), регламентирующих качество и безопасность продукции, а также с целью подтверждения соответствия (декларирование и сертификация). Результаты испытаний используются для внесения в Классификатор сырья и продукции комбикормовой промышленности, выступающий информационным справочником для предприятий и организаций отрасли. Данный классификатор содержит требования ТНПА к качеству комбикормовой продукции; информацию для расчета рецептур и обеспечения сбалансированного кормления животных; научно обоснованные нормы ввода кормов и кормовых добавок в комбикорма. Испытания проводятся по следующим показателям: органолептическим, физико-химическим, бактериологическим, токсикологическим, радиологическим, а также на содержание генетически модифицированных объектов (ГМО) [17].




Система инновационного взаимодействия промышленного кормопроизводства

The system of innovative interaction in industrial feed production

3. **Государственное учреждение «Белорусский государственный ветеринарный центр»**. Учреждение осуществляет: диагностические исследования в животноводстве; испытания кормов, кормовых добавок по показателям качества и безопасности; сертификацию, декларирование кормов и пищевой продукции, а также иные профильные изыскания[1].

Дополнительно ГУ «Белгосветцентр» организует и проводит работы для государственной регистрации кормовых добавок, в том числе обследование производств на способность стабильно выпускать их в соответствии с требованиями ТНПА. Центр проводит испытания кормов, сырья и добавок по показателям ветеринарно-санитарной безопасности, утвержденным постановлением Минсельхозпрода Республики Беларусь от 10 февраля 2011 г. № 10, а также по заявлениям заказчиков на соответствие нормативным документам (техническим условиям, рецептурам и т. п.).

4. **Государственное научное учреждение «Институт микробиологии Национальной академии наук Беларуси»**. Институт разрабатывает и реализует кормовые добавки, пробиотики и синбиотики для нормализации пищеварения, повышения продуктивности животных и устойчивости их к неблагоприятным факторам внешней среды, улучшения усвояемости кормов, а также для профилактики и лечения желудочно-кишечных заболеваний сельскохозяйственных животных и птицы и т. п. [18].

5. **Производители готовых кормов и кормовых добавок** для сельскохозяйственных животных.

В качестве одной из ключевых задач указанных субъектов целесообразно установить формирование базы данных питательных веществ в ингредиентах кормов, для чего потребуется разработать соответствующий механизм и цифровую платформу.

[1] Направления деятельности // ГУ «Белорусский государственный ветеринарный центр». URL: https://bgvc.by/ (дата обращения: 17.02.2026).

Формирование этого информационного ресурса предлагается обеспечить Научно-практическому центру Национальной академии наук Беларуси по животноводству на основании проведения экспериментов *in vivo*, *in situ* и *in vitro* (данная технология в стране в настоящее время не применяется), а также с использованием методов влажного химического анализа. Для проведения лабораторных исследований предусматривается дополнительно привлечение филиала «Центральная научно-исследовательская лаборатория» республиканского учреждения «Государственная хлебная инспекция» и ГУ «Белгосветцентр», которые имеют необходимую материально-техническую базу, опыт и кадры.

На основании указанных результатов могут быть откалиброваны приборы БИК-спектрометрии для измерения содержания питательных веществ и показателей перевариваемости. Доступ к точным калибровочным данным для пользователей будет предоставлен через облачное программное обеспечение для управления калибровками.

В дальнейшем производители могут подключаться к указанной базе данных и на основании результатов экспресс-анализа методом БИК получать точные данные о питательной ценности ингредиентов и готовой продукции, а также об их переваримости.

Для проведения названных выше экспериментов и анализов потребуется дооснащение лабораторий Научно-практического центра Национальной академии наук Беларуси по животноводству, филиала «Центральная научно-исследовательская лаборатория» республиканского учреждения «Государственная хлебная инспекция» и производителей кормов необходимым оборудованием и методиками.

Критически важно, чтобы такая работа в стране была организована на постоянной основе с целевым финансированием.

С учетом мирового и отечественного опыта по снижению использования антибиотиков, а также по обеспечению здоровья животных значительная роль в предложенной системе взаимодействия отводится государственному научному учреждению «Институт микробиологии Национальной академии наук Беларуси». Предполагается, что сфера его ответственности будет охватывать создание кормовых добавок для нормализации пищеварения, повышения продуктивности животных и устойчивости их к неблагоприятным факторам внешней среды, улучшения усвояемости кормов, а также профилактики и лечения желудочно-кишечных заболеваний сельскохозяйственных животных и птицы.

Это позволит производителям кормов в перспективе поставлять аграрному сектору не только высококачественную продукцию в широком ассортименте, но и предлагать комплекс цифровых решений для эффективного управления программами кормления и в целом бизнесом.

Координацию работы по организации и развитию системы инновационного взаимодействия указанных выше субъектов целесообразно возложить на Министерство сельского хозяйства и продовольствия и Национальную академию наук Беларуси.

**Заключение.** По результатам анализа приоритетов развития мирового промышленного кормопроизводства, ключевых тем исследований и инноваций в данной отрасли установлено, что компании-лидеры:

имеют научно-исследовательские центры и базы, где разрабатывают инновационные виды продукции, изучают их влияние на здоровье и продуктивность сельскохозяйственных животных, птицы и объектов аквакультуры, а также воздействие на окружающую среду;

обеспечивают систематическое внедрение наиболее эффективных решений в промышленное производство;

формируют базы данных питательной ценности ингредиентов, используемые для выпуска высокоэффективных кормов и предоставления цифровых сервисов в области кормления;

предлагают широкий спектр программных продуктов и инструментов для оптимизации рационов как животноводческим хозяйствам и предприятиям аквакультуры, так и промышленным производителям комбикормов.

Анализ деятельности отечественной отрасли производства готовых кормов для сельскохозяйственных животных свидетельствует о фрагментарном использовании субъектами промышленного кормопроизводства Республики Беларусь лучших мировых практик и ресурсов

(баз данных) для оптимизации программ кормления и рецептур комбикормов, а также об отсутствии собственных баз данных ингредиентов кормов и цифровых сервисов (аналогичных предоставляемым компаниями – лидерами в данной отрасли).

Для адаптации лучших мировых практик и обеспечения конкурентоспособности отечественного кормопроизводства с учетом масштабов отечественного рынка предлагается создать комплексную систему инновационного взаимодействия со следующими ключевыми субъектами: Научно-практическим центром Национальной академии наук Беларуси по животноводству, филиалом «Центральная научно-исследовательская лаборатория» республиканского учреждения «Государственная хлебная инспекция», Белорусским государственным ветеринарным центром, Институтом микробиологии Национальной академии наук Беларуси, производителями готовых кормов и кормовых добавок для сельскохозяйственных животных.

Важнейшим результатом такой системы будет формирование базы данных питательных веществ с использованием БИК-аналитики, которая позволит субъектам промышленного кормопроизводства:

повысить точность оценки качества кормов – достовернее определять содержание питательных веществ в кормовых ингредиентах, а также переваримость;

сократить время проведения исследований – от нескольких дней при использовании классического химического метода до нескольких минут при применении БИК-спектроскопии;

оптимизировать затраты на корма – снизить расход кормов на единицу продукции за счет создания более сбалансированных рационов;

оперативно адаптировать рецептуры кормов под разные потребности и условия содержания животных за счет автоматизации и цифровизации данных, накапливаемых в базе;

разработать комплекс цифровых сервисов, новых для рынка Республики Беларусь, способствующих повышению эффективности управления программами кормления для сельскохозяйственных производителей;

нарастить экспортный потенциал за счет производства продукции с качественными параметрами, соответствующими требованиям мирового рынка;

уменьшить негативное воздействие на окружающую среду (сократить объемы выбросов и отходов) за счет более точного расчета рационов и снижения избыточного использования питательных веществ;

обеспечить дальнейшее непрерывное проведение научных исследований и внедрение инноваций в части разработки более эффективных рецептур и применения передовых технологий в отрасли.

Реализация предложенных мер послужит основой качественного роста отрасли кормопроизводства и животноводства Республики Беларусь на долгосрочную перспективу.

## Список использованных источников

1. The Global Feed Industry // IFIF: feed the world. – URL: https://ifif.org/global-feed/industry/ (date of access: 17.02.2026).

2. Priorities // FEFAC: Experts in Animal Nutrition. – URL: https://fefac.eu/priorities/ (date of access: 17.02.2026).

3. About the industry // FEFANA. – URL: https://fefana.org/our-industry/about-the-industry/ (date of access: 17.02.2026).

4. Animal Food Fuels a Sustainable Future // AFIA: American Feed Industry Association. – URL: https://www.afia.org/issues/feed-food-safety/sustainability-in-the-animal-food-industry/ (date of access: 17.02.2026).

5. About the GFLI // GFLI: Global Metrics for Sustainable Feed. – URL: https://globalfeedlca.org/about-gfli/about-the-gfli/ (date of access: 17.02.2026).

6. Strategic Research & Innovation Agenda // FEFAC: Experts in Animal Nutrition. – URL: https://fefac.eu/priorities/animal-nutrition-innovation/strategic-research-innovation-agenda/ (date of access: 17.02.2026).

7. Cargill повышает продуктивность животных с помощью цифровых технологий // FEEDLOT: новости и аналитика рынка кормов. – URL: https://feedlot.ru/novosti/cargill-povyishaet-produktivnost-zhivotnyix-s-pomoshhyu-czifrovyix-texnologij (дата обращения: 17.02.2026).

8. This is Nutreco // Nutreco: an SHV company. – URL: https://www.nutreco.com/en/this-is-nutreco/ (date of access: 17.02.2026).

9. Ingredient Research // Trouw Nutrition: a Nutreco company. – URL: https://www.trouwnutrition.com/en/science-innovation/rd-teams/ingredient-research-centre/ (date of access: 17.02.2026).

10. Skretting Aquaculture Innovation (AI): Where science meets industry // Skretting: a Nutreco company. – URL: https://www.skretting.com/en/innovation/skretting-ai/ (date of access: 17.02.2026).

11. Feed // Haid Group. – URL: https://www.haid.com.cn/en/Feed/index.aspx (date of access: 17.02.2026).

12. Our Solutions // Alltech. – URL: https://www.alltech.com/our-solutions (date of access: 17.02.2026).

13. PNE: for precise nutritional evaluation // Adisseo: A Bluestar Company. – URL: https://www.adisseo.com/eu/services/pne (date of access: 17.02.2026).

14. Центр испытания качества кормов и продуктов животного происхождения // Cherkizovo LAB. – URL: https://cherkizovolab.ru/labs/food/ (дата обращения: 17.02.2026).

15. Структура бизнеса // Серволюкс. – URL: https://servolux.com/ (дата обращения: 17.02.2026).

16. О центре // РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству». – URL: https://belniig.by/about/ (дата обращения: 17.02.2026).

17. Филиал «ЦНИЛ» Государственной хлебной инспекции // РУ «Государственная хлебная инспекция». – URL: https://ghi.by/filial-centralnaya-nauchno-issledovatelskaya-laboratoriya (дата обращения: 17.02.2026).

18. Продукция института микробиологии // ГНУ «Институт микробиологии Национальной академии наук Беларуси». – URL: https://mbio.bas-net.by/prod/#feed-id (дата обращения: 17.02.2026).

## References

1. The Global Feed Industry. *IFIF: feed the world*. Available at: https://ifif.org/global-feed/industry/ (accessed 17 February 2026).

2. Priorities. *FEFAC: Experts in Animal Nutrition*. Available at: https://fefac.eu/priorities/ (accessed 17 February 2026).

3. About the industry. *FEFANA*. Available at: https://fefana.org/our-industry/about-the-industry/ (accessed 17 February 2026).

4. Animal Food Fuels a Sustainable Future. *AFIA: American Feed Industry Association*. Available at: https://www.afia.org/issues/feed-food-safety/sustainability-in-the-animal-food-industry/ (accessed 17 February 2026).

5. About The GFLI. *GFLI: Global Metrics for Sustainable Feed*. Available at: https://globalfeedlca.org/about-gfli/about-the-gfli/ (accessed 17 February 2026).

6. Strategic Research & Innovation Agenda. *FEFAC: Experts in Animal Nutrition*. Available at: https://fefac.eu/priorities/animal-nutrition-innovation/strategic-research-innovation-agenda/ (accessed 17 February 2026).

7. Cargill increases animal productivity through digital technologies. *FEEDLOT*. Available at: https://feedlot.ru/novosti/cargill-povyishaet-produktivnost-zhivotnyix-s-pomoshhyu-czifrovyix-texnologij (accessed 17 February 2026) (in Russian).

8. This is Nutreco. *Nutreco: an SHV company*. Available at: https://www.nutreco.com/en/this-is-nutreco/ (accessed 17 February 2026).

9. Ingredient Research. *Trouw Nutrition: a Nutreco company*. Available at: https://www.trouwnutrition.com/en/science-innovation/rd-teams/ingredient-research-centre/ (accessed 17 February 2026).

10. Skretting Aquaculture Innovation (AI): Where science meets industry. *Skretting: a Nutreco company*. Available at: https://www.skretting.com/en/innovation/skretting-ai/ (accessed 17 February 2026).

11. Feed. *Haid Group*. Available at: https://www.haid.com.cn/en/Feed/index.aspx (accessed 17 February 2026).

12. Our solutions. *Alltech*. Available at: https://www.alltech.com/our-solutions (accessed 17 February 2026).

13. PNE: for precise nutritional evaluation. *Adisseo: a Bluestar company*. Available at: https://www.adisseo.com/eu/services/pne (accessed 17 February 2026).

14. Center for Testing the Quality of Feed and Animal Products. *Cherkizovo LAB*. Available at: https://cherkizovolab.ru/labs/food/ (accessed 17 February 2026) (in Russian).

15. Business structure. *Servolux*. Available at: https://servolux.com/en (accessed 17 February 2026).

16. About. *RUE "Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Husbandry"*. Available at: https://belniig.by/en/about/ (accessed 17 February 2026) (in Russian).

17. Branch "Central Research Laboratory" of the State Bread Inspection. *Republican Institution "State Bread Inspection"*. Available at: https://ghi.by/filial-centralnaya-nauchno-issledovatelskaya-laboratoriya (accessed 17 February 2026) (in Russian).

18. Products of the Institute of Microbiology. *Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus*. Available at: https://mbio.bas-net.by/prod/#feed-id (accessed 17 February 2026).

## Информация об авторе

*Побединский Вадим Петрович* – старший научный сотрудник сектора кооперации, соискатель ученой степени кандидата экономических наук, Институт системных исследований в АПК Национальной академии Беларуси (ул. Казинца, 103, 220108, Минск, Республика Беларусь). E-mail: agresinst@mail.belpak.by

## Information about the author

*Vadim P. Pobedinskiy* – Senior Researcher of the Cooperation Sector, Applicant for an Academic Degree of Candidate of Economic Sciences, Institute of System Researches in the Agro-Industrial Complex of the National Academy of Sciences of Belarus (103, Kazinets Str., 220108, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: agresinst@mail.belpak.by

ISSN 1817-7204 (Print)
ISSN 1817-7239 (Online)

## *ЗЕМЛЯРОБСТВА І РАСЛІНАВОДСТВА*

## *AGRICULTURE AND PLANT CULTIVATION*

УДК 632.7:633.15:631.563
https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-3-286-299

Поступила в редакцию 20.01.2026
Received 20.01.2026

**Е. В. Бречко**

*Институт защиты растений, Национальная академия наук Беларуси, Прилуки, Республика Беларусь*

# ОЦЕНКА ИНФОРМАТИВНОСТИ МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА ЧЕШУЕКРЫЛЫХ (LEPIDOPTERA) И ЖЕСТКОКРЫЛЫХ (COLEOPTERA) ВРЕДИТЕЛЕЙ ЗАПАСОВ ПРИ ХРАНЕНИИ ЗЕРНА КУКУРУЗЫ

**Аннотация.** Кукуруза – важнейшая зернофуражная культура, которая используется как для кормления всех видов животных, так и на продовольственные и семенные цели. В последние годы рост посевных площадей при возделывании кукурузы на зерно, урожайности и валового сбора в Республике Беларусь актуализировал проблему защиты зерна от членистоногих в послеуборочный период. Впервые в 2024–2025 гг. изучен видовой состав чешуекрылых (Lepidoptera) и жесткокрылых (Coleoptera) насекомых, структура доминирования, динамика численности вредителей запасов посредством стандартного метода (отбор средних проб) и метода ловушек в техноценозах семенных и фуражных зернохранилищ в период хранения зерна кукурузы. Выявлено, что таксономический состав вредителей включал 19 видов, относящихся к 2 отрядам и 9 семействам, причем наибольшее количество видов (16) было обнаружено при применении феромонно-клеевых ловушек, что в 3,2 раза больше по сравнению со стандартным методом. Установлено, что структура доминирования определялась способом хранения и назначением зерна: если в семенных фондах при использовании биг-бэгов зафиксировано абсолютное преобладание чешуекрылых (100,0 %), то в фуражных складах при хранении насыпью видовой спектр расширяется за счет жесткокрылых (20,4 %) при сохранении доминирующей роли представителей отряда Lepidoptera (79,6 %). Повсеместным эудоминантом выявлена южная амбарная огневка (*Plodia interpunctella* Hbn.) с высоким индексом доминирования (78,7–99,7 %), тогда как бархатистый грибоед (*Typhaea stercorea* L.) достигал уровня доминанта (19,8 %) лишь при хранении фуражного зерна. Анализ методов учета вредителей запасов подтвердил высокую эффективность феромономониторинга (12,7–100,0 %) в сравнении с методом отбора средних проб (0,01–0,20 %), который оказался практически нерезультативным для обнаружения членистоногих. Данные исследования позволят повысить достоверность мониторинга и станут основой для разработки научно обоснованной стратегии по защите зерна кукурузы от вредителей запасов.

**Ключевые слова:** хранение, зерно кукурузы, зернохранилища, вредители запасов, метод отбора средних проб, метод ловушек, феромономониторинг

**Для цитирования:** Бречко, Е. В. Оценка информативности методов мониторинга чешуекрылых (Lepidoptera) и жесткокрылых (Coleoptera) вредителей запасов при хранении зерна кукурузы / Е. В. Бречко // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2026. – Т. 64, № 4. – С. 286–299. https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-4-286-299

**Elena V. Brechko**

*Institute of Plant Protection, National Academy of Sciences of Belarus, Priluki, Republic of Belarus*

# ASSESSMENT OF THE INFORMATIVE VALUE OF MONITORING METHODS FOR LEPIDOPTERA AND COLEOPTERA STORED-PRODUCT PESTS DURING MAIZE GRAIN STORAGE

**Abstract.** Maize is the most important grain and forage crop which is used to feed of all species of animals as well as for food and seed purposes. In recent years the expansion of the area sown to maize for grain, the growth in yield, and gross harvest in the Republic of Belarus has prioritized the problem of protecting grain from arthropods during the post-harvest period. In 2024–2025 the species composition of Lepidoptera and Coleoptera insects as well as the dominance structure and population dynamics of stored-product pests were studied for the first time using the standard method (average sampling) and the trap method in technocenoses of seed and forage granaries during maize grain storage. It was found that the taxonomic composition of the pests included 19 species from 2 orders and 9 families, the largest number of species (16) being detected with the use of pheromone-glue traps, which was 3.2 times as many as in comparison with the standard method. It was established that the dominance structure was determined by the storage method and the intended use of the grain: the absolute

© Бречко Е. В., 2026

predominance of Lepidoptera was recorded in seed stocks when using big bags (100.0 %), whereas in forage warehouses with bulk storage the species spectrum expanded due to Coleoptera (20.4 %) with the dominant role of Lepidoptera (79.6 %). The ubiquitous eudominant was the Indian meal moth (*Plodia interpunctella* Hbn.) with a high dominance index (78.7–99.7 %), while the hairy fungus beetle (*Typhaea stercorea* L.) reached the dominant level (19.8 %) only when forage grain was stored. The analysis of the pests recording methods confirmed the high efficiency of pheromone monitoring (12.7–100.0 %) in comparison with the average sampling method (0.01–0.20 %), which turned out to be practically ineffective for detecting arthropods. The conducted research will improve the reliability of monitoring and become the basis for the development of a study-supported strategy to protect maize grain from stored-product pests.

**Keywords:** storage, maize grain, granaries, stored-product pests, average sampling method, trap method, pheromone monitoring

**For citation:** Brechko E. V. Assessment of the informative value of monitoring methods for Lepidoptera and Coleoptera stored-product pests during maize grain storage. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2026, vol. 64, no. 4, pp. 286–299 (in Russian). https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-4-286-299

**Введение.** В современной структуре мирового и отечественного растениеводства кукуруза занимает позиции одной из ведущих зернофуражных культур [1]. В последние годы, согласно данным Национального статистического комитета, в Республике Беларусь наблюдается устойчивая тенденция к увеличению посевных площадей кукурузы на зерно, урожайности и валового сбора[1] (рис. 1).

Ценность возделывания кукурузы на зерно в условиях республики определяется ее биологическими особенностями и высокой энергетической эффективностью [2]. Важным этапом развития отрасли в Беларуси стало создание современной базы семеноводства. Функционирование отечественных кукурузокалибровочных заводов позволило существенно нарастить объем производства семян собственной селекции, что способствует реализации стратегии импортозамещения и экономии валютных средств [3].

В период вегетации растения кукурузы на разных фазах развития повреждаются комплексом вредителей, которые могут снизить урожайность на 15,0–20,0 % и более [4, 5]. В послеуборочный период зерновые массы кукурузы при хранении остаются уязвимыми для заражения специфическим комплексом складских вредителей, способных наносить существенный ущерб количеству и качеству продукции.

Обобщение литературных источников показало, что в регионах России, Украины, Восточной Европы, США из жесткокрылых насекомых наибольший вред хранящемуся зерну кукурузы наносят: рисовый (*Sitophilus oryzae* L.) и амбарный (*S. granarius* L.) долгоносики, булавоусый (*Tribolium castaneum* Herbst), малый мучной (*T. confusum* Duv.), большой мучной (*Tenebrio*

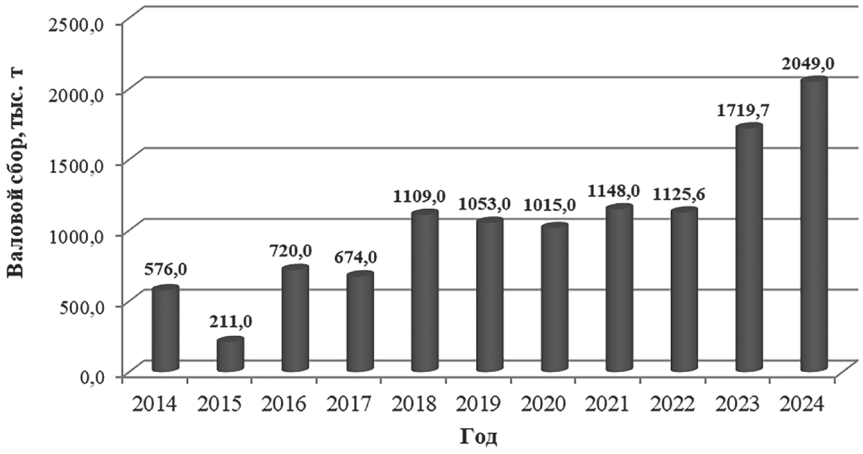



Рис. 1. Валовой сбор зерна кукурузы в Беларуси

Fig. 1. Gross harvest of maize grain in Belarus

[1] Сельское хозяйство Республики Беларусь, [2017–2021]: стат. буклет / Нац. стат. ком. Респ. Беларусь; редкол.: И. В. Медведева [и др.]. Мн.: Нац. стат. ком. Респ. Беларусь, 2022. 35 с.

*molitor* L.) хрущаки, суринамский мукоед (*Oryzaephilus surinamensis* L.), зерновой точильщик (*Rhyzopertha dominica* F.), мавританская козявка (*Tenebroides mauritanicus* L.); из чешуекрылых: южная амбарная огневка (*Plodia interpunctella* Hbn.), амбарная моль (*Nemapogon granella* L.), зерновая моль (*Sitotroga cerealella* Oliv.), мельничная огневка (*Ephestia kuehniella* Zell.), сухофруктовая огневка (*Cadra cautella* Wlkr.)[1] [6, 7]. Зерно кукурузы становится непригодным для продовольственных, семенных и фуражных целей. Всхожесть семян может снижаться на 30,0–65,0 %[2].

Вместе с тем в нашей республике исследования по изучению зараженности зерна кукурузы вредителями запасов отсутствуют. В то время как наличие тех или иных видов вредителей в партиях зерна кукурузы регламентируется нормативными документами – ГОСТ Р 53903-2010[3], СТБ 1073-97, постановлением Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь от 29 октября 2015 г. № 37[4], согласно которым зараженность вредителями не допускается, кроме зараженности клещом не выше II степени, или 20,0 ос/кг.

Таким образом, контроль за состоянием зернохранилищ в послеуборочный период является неотъемлемой частью системы защиты кукурузы, сопоставимой по значимости с мониторингом фитофагов в течение вегетационного сезона.

В литературных источниках описаны различные методы мониторинга членистоногих в зернохранилищах при хранении сельскохозяйственной продукции. Выделяют «ловушки-просчеты» (членистоногие попадают случайно и удерживаются конструкцией), ловушки-приманки: пищевые (сухие и масляные) и с синтетическими феромонами (объекты привлекаются феромоном). Для обнаружения и улавливания вредителей разработаны следующие модификации ловушек: зонд, западня, дельтовидная типа «Атракон-А», «Книжка», контейнерная и др.[5] [8].

Изучение сенсорики насекомых привело к созданию широко используемых в производстве феромонов для контроля численности членистоногих в складских помещениях России, Молдовы, Польши, Украины. Известен химический состав феромонов более 30 видов вредителей запасов. Половые феромоны лучше всего известны у чешуекрылых вредителей, таких как мельничная (*E. kuehniella* Zell.), южная амбарная (*P. interpunctella* Hbn.), зерновая/какаовая (*E. elutella* Hbn.) огневки, зерновая моль (*S. cerealella* Oliv.); агрегационные – у жесткокрылых: рисового (*S. oryzae* L.) и амбарного (*S. granarius* L.) долгоносиков, булавоусого (*T. castaneum* Herbst) и малого мучного (*T. confusum* Duv.) хрущаков, малого табачного жука (*Lasioderma serricorne* F.), зернового точильщика (*R. dominica* F.), короткоусого (*Cryptolestes ferrugineus* St.) и суринамского (*Oryzaephilus surinamensis* L.) мукоедов, капрового жука (*Trogoderma granarium* Everts) [9–20].

В Республике Беларусь была разработана технология синтеза полового аттрактанта мельничной огневки (*E. kuehniella* Zell.). На основании результатов исследований, проведенных в период с 2007 по 2012 г., феромонный препарат «Миррон» прошел процедуру государственной регистрации и был рекомендован для применения на предприятиях хлебопродуктов [21].

Таким образом, анализ литературных источников показал, что в Беларуси по-прежнему остается неизученным вопрос о зараженности зерна кукурузы вредителями запасов, их видовом составе, динамике численности; не проводился сравнительный анализ методов учета, феромонный мониторинг членистоногих. В связи с этим актуальным является изучение зараженности зерна кукурузы, оценка информативности методов мониторинга путем определения уловистости ловушек различного типа для отлова насекомых из отрядов Чешуекрылые и Жесткокрылые.

---

[1] Вредители кукурузного зерна в складах // РГАУ-МСХА. Зооинженерный факультет. URL: https://www.activestudy.info/vrediteli-kukuruznogo-zerna-v-skladax/ (дата обращения: 11.01.2024).

[2] Что такое амбарные вредители кукурузы. Какой вред наносят зерну и как бороться в 2024 // Агроэксперт-Трейд. URL: https://agroexp.com.ua/chto-takoe-ambarnye-vrediteli-kukuruzy (дата обращения: 11.01.2024).

[3] Кукуруза кормовая. Технические условия: ГОСТ Р 53903-2010 (ИУС РФ № 7-2011); введ. 01.07.2011. М.: Стандартинформ, 2011. II, 7 с.

[4] Об установлении требований к сортовым и посевным качествам семян сельскохозяйственных растений: постановление М-ва сел. хоз-ва и продовольствия Респ. Беларусь от 29 окт. 2015 г. № 37 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. URL: https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21530417 (дата обращения: 21.01.2025).

[5] Зерновые и бобовые заготовленные. Руководство по выявлению заражения беспозвоночными паразитами с помощью ловушек = Збожжавыя і бабовыя загатаваныя. Кіраўніцтва па выяўленні заражэння беспазваночнымі паразітамі з дапамогай пастак: ГОСТ ISO 16002-2013. Введ. РБ 01.04.2018. Мн.: Госстандарт, 2017. III, 13 с.

Полученные результаты повысят достоверность мониторинга и будут способствовать принятию научно обоснованных решений по защите зерна кукурузы в период хранения от членистоногих.

*Цель работы* – изучить видовой состав чешуекрылых и жесткокрылых насекомых, структуру доминирования, динамику численности доминантных вредителей запасов посредством разных методов мониторинга в техноценозах семенных и фуражных зернохранилищ при хранении зерна кукурузы.

**Материалы и методы исследования.** Исследования проводились в 2024–2025 гг. в 11 зернохранилищах в период хранения зерна кукурузы различного целевого назначения: семенного (хранение в биг-бэгах номинальной массой загрузки 1 000 кг) и фуражного (хранение насыпью). Обследованию подлежали складские помещения в двух областях республики: Минской и Гомельской. Партии зерна кукурузы урожая 2022–2024 гг. хранились в напольных зернохранилищах. Всего за 2 года проанализировано 27 партий зерна кукурузы массой около 4 800 т.

При стандартном методе учета вредителей запасов в период хранения зерна проводили отбор средних проб зерновой массы кукурузы с помощью пробоотборника многоуровневого согласно ГОСТ 13586.3-2015[1]. Зараженность зерна определяли по ГОСТ 13586.6-93[2]. Просеивание проб зерна осуществляли с помощью лабораторного рассева РЛ-3 Таглер.

Для выбора наиболее подходящего типа ловушек учитывали способ хранения зерна (насыпь, биг-бэги), доступ к поверхности и тоннаж зерновой насыпи, длительность предполагаемого периода хранения зерна кукурузы, объем складского помещения. Размещение ловушек и учеты проводили согласно методическим указаниям[3]. Впервые для мониторинга использовали ловушки-приманки (с феромоном), «ловушки-просчеты» (без феромона) и светодиодные ловушки (рис. 2).

Для контроля чешуекрылых применяли феромонные дельтовидные ловушки типа «Атракон-А» и феромонные (клеевые и бесклеевые) контейнерные ловушки типа «Бета», которые размещали равномерно по всей территории склада из расчета 1 ловушка на 500 и 700 м$^3$. В качестве исследований выбраны синтетические половые феромоны для отлова целевых объектов, таких как зерновая моль, южная амбарная и зерновая/какаовая огневки. При хранении семян кукурузы в биг-бэгах ловушки устанавливали на стойках на высоте 2,5–3,0 м. Для отлова жесткокрылых насекомых использовали феромонно-клеевые ловушки типа «Книжка» различной конфигурации (вертикальная и горизонтальная), которые устанавливали на насыпи зерна кукурузы из расчета 1 на 25 м$^2$ складского помещения. В ловушках-приманках использовали феромоны для отлова предполагаемых вредителей (целевых объектов) – рисового и амбарного долгоносиков.

При использовании феромонных ловушек вкладыши меняли по мере заполнения фиксирующей (клеевой) поверхности их бабочками (170–200 ос.), диспенсеры – через 4–6 недель. Корпус ловушек меняли по мере его износа. В опытах использовали феромоны (синтетические половые и агрегационные) и ловушки производства Всероссийского центра карантина растений и Института общей и неорганической химии Академии наук Республики Узбекистан.

В качестве «ловушек-просчетов» (без феромона) применяли открытую ловушку-западню и контейнерную ловушку типа «Бета» (бесклеевая). Также в схему опыта для проведения пробной эксплуатации были включены светодиодные ловушки производства Центра светодиодных и оптоэлектронных технологий НАН Беларуси и Всероссийского института защиты растений (ВИЗР). Всего за период исследований было экспонировано 243 ловушки. Срок установки – при достижении температуры воздуха в складском помещении +10 °С и выше спустя 6–8 мес. хранения зерна. В годы исследований учеты осуществляли с апреля по октябрь.

---

[1] Зерно. Правила приемки и методы отбора проб = Зерне. Правілы прыёмкі і метады адбору проб: ГОСТ 13586.3-2015. Взамен ГОСТ 13586.3-83; введ. РБ 01.06.2017. Мн.: Госстандарт, 2017. III, 11 с.

[2] Зерно. Методы определения зараженности вредителями: ГОСТ 13586.6-93. Взамен ГОСТ 13586.4-93; введ. 02.06.1994. Мн.: Госстандарт, 2010. 8 с.

[3] Технология применения феромонных ловушек на предприятиях хлебопродуктов / А. П. Сазонов, И. В. Шамшев, О. Г. Селицкая [и др.] // Сборник методических рекомендаций по защите растений / Всерос. НИИ защиты растений; гл. ред. К. В. Новожилов. СПб., 1998. С. 93–104 ; Инструкция по борьбе с вредителями хлебных запасов: утв. Ком. по хлебопродуктам при Минсельхозпроде Респ. Беларусь; под общ. ред. А. И. Быховца. Мн.: [б. и.], 2000. 414 с. ; Зерновые и бобовые заготовленные. Руководство по выявлению заражения беспозвоночными паразитами с помощью ловушек = Збожжавыя і бабовыя загатаваныя. Кіраўніцтва па выяўленні заражэння беспазваночнымі паразітамі з дапамогай пастак: ГОСТ ISO 16002-2013. Введ. РБ 01.04.2018. Мн.: Госстандарт, 2017. III, 13 с.

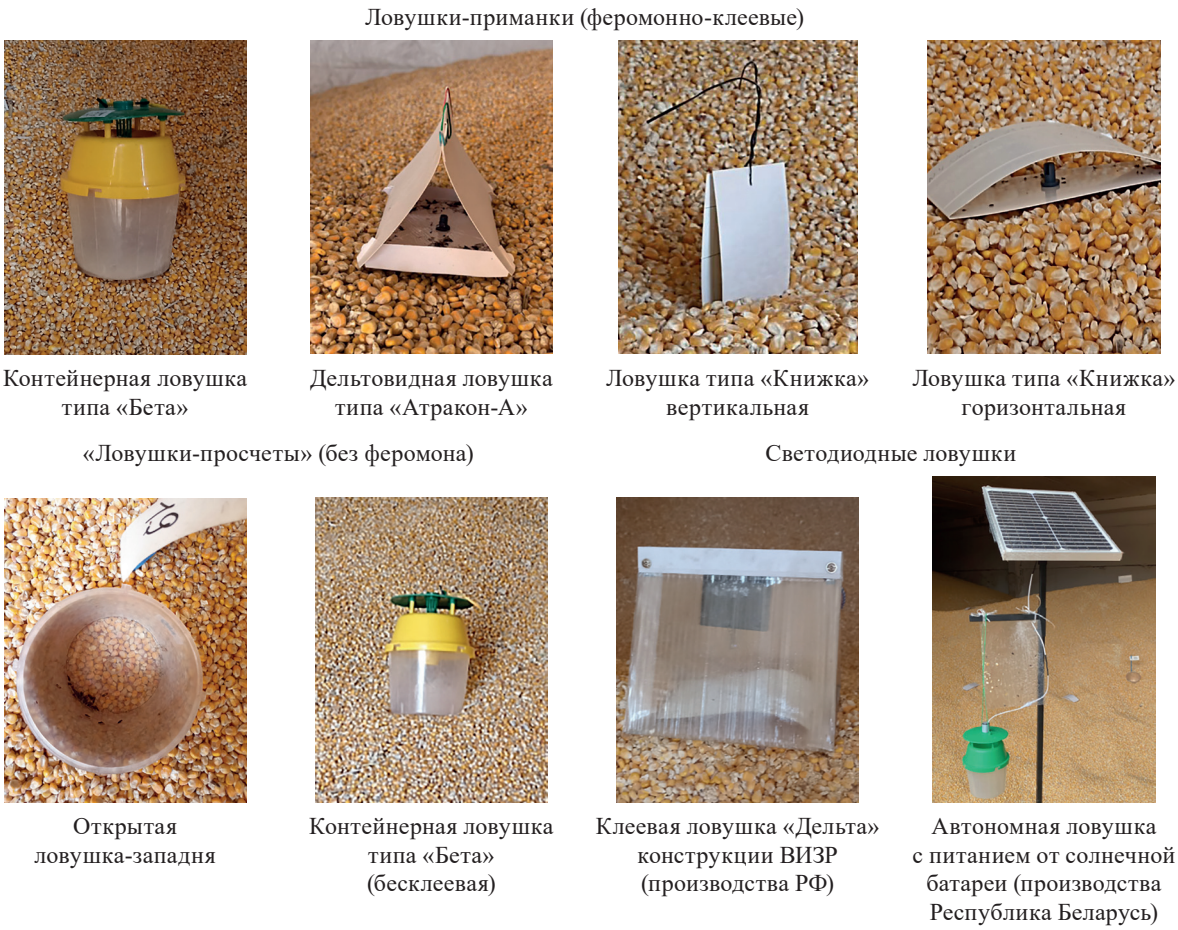



Рис. 2. Типы ловушек, используемые для мониторинга вредителей запасов в зернохранилищах в период хранения зерна кукурузы, 2024–2025 гг.

Fig. 2. Types of traps used to monitor stored-product pests in granaries during maize grain storage, 2024–2025

Анализ структуры энтомоценоза и выявление доминирующих групп вредителей проводили, основываясь на исследовании проб, отобранных в складских помещениях. Индекс доминирования ($D$, %) определяли с использованием формулы

$$D = \frac{n}{N} 100\ \%,$$

где $n$ – количество особей данного вида, ос/кг; $N$ – количество особей всех собранных видов, ос/кг.

С целью анализа структуры доминирования использовали шкалу Х. Д. Энгельмана (H. D. Engelmann) [22], где эвдоминирующие (E) виды составляли 40,0–100,0 %; доминирующие (D) – 12,5–39,9 %; субдоминирующие (SD) – 4,0–12,4 %; рецедентные (R) – 1,3–3,9 %; субрецедентные (SR) – <1,3 %.

Определение видовой принадлежности вредителей запасов проводили с использованием определителей и специальной литературы [23–29]. Влажность зерна кукурузы измеряли с помощью электронного влагомера зерна Wile-55, температуру насыпи и окружающего воздуха – посредством термоштанги с цифровым электронным блоком ТШЭ-2-3,5.

Все полученные данные статистически обработаны с помощью программного обеспечения MS Excel.

**Результаты и их обсуждение.** В результате исследований, проведенных с помощью комплекса методов (отбор средних проб и метод ловушек), определено, что таксономический состав членистоногих в семенных и фуражных зернохранилищах в период хранения зерна кукурузы включал 19 видов, относящихся к 2 отрядам и 9 семействам. Установлено, однако, что видовой

состав вредителей запасов, обитающих в складских помещениях, при использовании различных методов мониторинга отличался. Так, при применении стандартного метода встречалось 5 видов, при использовании «ловушек-просчетов»: контейнерной ловушки типа «Бета» – 4, открытой ловушки-западни – 7, светодиодных – 8 видов. Наибольшее количество видов – 16 (целевые и нецелевые объекты) было обнаружено при применении феромонных ловушек-приманок, что в 3,2 раза больше по сравнению со стандартным методом (табл. 1).

Установлено, что при учете методом отбора средних проб зерна кукурузы в основном обнаруживались представители жесткокрылых вредителей, за исключением южной амбарной огневки, имаго и гусеницы которой попадали в пробы при очень высокой численности; при учете ловушками, кроме жесткокрылых, отлавливались и чешуекрылые вредители. Полученные данные можно объяснить, во-первых, тем, что бабочки ведут сумеречный образ жизни, а также являются скрытоживущими (создают переплетенные паутиной трубочки, в которых развиваются до окукливания). Во-вторых, окукливание происходит на стенах складского помещения и/или таре и чешуекрылые вредители не попадают в точечные пробы при отборе из зерновой массы.

Таблица 1. **Видовой состав вредителей запасов в семенных и фуражных зернохранилищах в период хранения зерна кукурузы при использовании различных методов учета (по данным маршрутных обследований), 2024–2025 гг.**

Table 1. **Species composition of stored-product pests in seed and forage granaries during maize grain storage with the use of various recording methods (according to route surveys), 2024–2025**

| Отряд | Семейство, вредитель запасов | Стандартный метод | Метод ловушек | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Отбор средних проб | Феромонные ловушки* | Открытая ловушка-западня | Контейнерная ловушка типа «Бета» | Светодиодные ловушки |
| Чешуекрылые (Lepidoptera) | **Семейство Tineidae** Амбарная/зерновая моль (*Nemapogon granella* L.) | – | + | – | – | – |
| | Хлебная моль (*Haplotinea ditella* Pierce et Metcalfe) | – | + | + | + | + |
| | Ложная хлебная моль (*Haplotinea insectella* F.) | – | – | – | + | – |
| | Грибная / ржаная моль (*Nemapogon variatella* Clemens) | – | + | – | – | + |
| | Норовая моль (*Niditinea fuscella* L.) | – | + | – | – | + |
| | Шубная моль (*Tinea pellionella* L.) | – | + | – | – | – |
| | **Семейство Pyralidae** Мучная огневка (*Pyralis farinalis* L.) | – | + | + | – | + |
| | Южная амбарная огневка (*Plodia interpunctella* Hbn.) | + | + | + | + | + |
| | Зерновая/какаовая огневка (*Ephestia elutella* Hbn.) | – | + | – | – | – |
| | Домовая огневка (*Aglossa pinguinalis* L.) | – | + | – | – | – |
| Жесткокрылые (Coleoptera) | **Семейство Curculionidae** Амбарный долгоносик (*Sitophilus granarius* L.) | + | – | + | – | – |
| | Рисовый долгоносик (*Sitophilus oryzae* L.) | + | – | – | – | – |
| | **Семейство Mycetophagidae** Бархатистый грибоед (*Typhaea stercorea* L.) | + | + | + | + | + |
| | **Семейство Dermestidae** Ветчинный кожеед (*Dermestes lardarius* L.) | – | + | – | – | – |

*Окончание табл. 1*

| Отряд | Семейство, вредитель запасов | Стандартный метод | Метод ловушек | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Отбор средних проб | Феромонные ловушки* | Открытая ловушка-западня | Контейнерная ловушка типа «Бета» | Светодиодные ловушки |
| Жесткокрылые (Coleoptera) | **Семейство Silvanidae** Масличная плоскотелка (*Ahasverus advena* Waltl) | – | + | + | – | + |
| | Суринамский мукоед (*Oryzaephilus surinamensis* L.) | + | + | + | – | + |
| | **Семейство Cryptophagidae** Скрытноед остроугольный (*Cryptophagus acutangulus* Gyll.) | – | + | – | – | – |
| | **Семейство Ptinidae** Притворяшка-вор (*Ptinus fur* L.) | – | + | – | – | – |
| | **Семейство Nitidulidae** Блестянка сухофруктовая (*Carpophilus hemipterus* L.) | – | + | – | – | – |
| Количество видов, шт. | | 5 | 16 | 7 | 4 | 8 |

Примечания: 1. + – вид встречался; – – вид не встречался.
2. * – отлов целевых и нецелевых объектов в феромонно-клеевые и феромонно-бесклеевые ловушки.

Note s. 1. + – species occurred; – – species didn't occur.
2. * – trapping of targeted and non-targeted objects in pheromone-glue and glue-free pheromone traps.

Выявлено, что структура доминирования насекомых-вредителей запасов изменяется в зависимости от способа хранения зерна кукурузы и его целевого назначения. В семенных складских помещениях (хранение семян в биг-бэгах) обнаруживались только представители отряда Чешуекрылых (100,0 %), в фуражных (хранение зерна насыпью), кроме чешуекрылых (79,6 %), отлавливались и жесткокрылые (20,4 %) вредители. Южная амбарная огневка являлась эудоминантом в хранилищах как фуражного, так и семенного назначения (индекс доминирования – 78,7–99,7 % соответственно), бархатистый грибоед характеризовался как доминант только в хранилищах фуражного назначения (19,8 %). Остальные виды встречались в незначительном количестве, характеризуясь как субрецеденты (0,01–0,78 %) (табл. 2).

Таблица 2. **Структура доминирования членистоногих (имаго) при хранении зерна кукурузы (зернохранилища, пробы зерна, ловушки), 2024–2025 гг.**

Table 2. **Dominance structure of arthropods (imago) in stored maize grain (granaries, grain samples, traps), 2024–2025**

| Отряд | Вредитель | Количество, ос. | Индекс доминирования, % | Классификация доминантности* |
|---|---|---|---|---|
| *Семенное зерно* (хранение в биг-бэгах), Гомельская обл. | | | | |
| Чешуекрылые | Южная амбарная огневка | 2 344,0 | 99,70 | Эудоминант |
| | Зерновая/какаовая огневка | 2,0 | 0,09 | Субрецедент |
| | Мучная огневка | 1,0 | 0,04 | Субрецедент |
| | Амбарная моль | 1,0 | 0,04 | Субрецедент |
| | Хлебная моль | 2,0 | 0,09 | Субрецедент |
| | Норовая моль | 2,0 | 0,09 | Субрецедент |
| | Всего, ос. | 2 352,0 | – | – |
| *Фуражное зерно* (хранение насыпью), Минская обл. | | | | |
| Чешуекрылые | Южная амбарная огневка | 14 505,0 | 78,70 | Эудоминант |
| | Мучная огневка | 6,0 | 0,03 | Субрецедент |
| | Зерновая/какаовая огневка | 2,0 | 0,01 | Субрецедент |
| | Домовая огневка | 1,0 | 0,01 | Субрецедент |
| | Хлебная моль | 143,0 | 0,78 | Субрецедент |
| | Грибная/ржаная моль | 11,0 | 0,06 | Субрецедент |
| | Амбарная моль | 3,0 | 0,02 | Субрецедент |

*Окончание табл. 2*

| Отряд | Вредитель | Количество, ос. | Индекс доминирования, % | Классификация доминантности* |
|---|---|---|---|---|
| | Норовая моль | 5,0 | 0,03 | Субрецедент |
| | Шубная моль | 1,0 | 0,01 | Субрецедент |
| Жесткокрылые | Бархатистый грибоед | 3 647,0 | 19,8 | Доминант |
| | Суринамский мукоед | 88,3 | 0,48 | Субрецедент |
| | Масличная плоскотелка | 7,0 | 0,04 | Субрецедент |
| | Скрытноед остроугольный | 3,0 | 0,02 | Субрецедент |
| | Рисовый долгоносик | 1,0 | 0,01 | Субрецедент |
| | Ветчинный кожеед | 2,0 | 0,01 | Субрецедент |
| | Блестянка сухофруктовая | 2,0 | 0,01 | Субрецедент |
| | Притворяшка-вор | 2,0 | 0,01 | Субрецедент |
| | Всего, ос. | 18 429,3 | – | – |

* Классификация доминантности по шкале Х. Д. Энгельмана (H. D. Engelmann, 1978): эудоминанты – 40,0–100,0 %; доминанты – 12,5–39,9 %; субдоминанты – 4,0–12,4 %; рецеденты – 1,3–3,9 %; субрецеденты – <1,3 %.

* Dominance classification according to the H. D. Engelmann scale (1978): eudominants – 40.0–100.0 %; dominants – 12.5–39.9 %; subdominants – 4.0–12.4 %; recedents – 1.3–3.9 %; subrecedents – <1.3 %.

Поскольку в годы исследований доминантными видами являлись южная амбарная огневка и бархатистый грибоед (рис. 3), нами была изучена динамика их численности с помощью метода отбора средних проб и метода ловушек в период хранения зерна кукурузы в фуражном зернохранилище Минской области.

Установлено, что динамика численности доминантных вредителей запасов с использованием разных методов существенно отличалась. Так, в 2024–2025 гг. при использовании стандартного метода в отобранных пробах зерна кукурузы обнаружены лишь единичные экземпляры имаго южной амбарной огневки и бархатистого грибоеда в III декаде июля – I декаде августа – 2,0 и 4,0 ос. соответственно (рис. 4, 5).

Можно констатировать, что с использованием стандартного метода достоверно проследить динамику численности вредителей запасов не представляется возможным вследствие низкой степени обнаружения насекомых-вредителей запасов.

Вместе с тем с помощью феромонных дельтовидных ловушек типа «Атракон-А» с диспенсером для отлова южной амбарной огневки в 2024 г. установлено, что численность имаго постепенно нарастала со II декады июля, увеличиваясь к I декаде августа до 146,0 ос/ловушку. Всего за период исследований было отловлено 4 496,0 ос. (1 124,3 ос/ловушку). В 2025 г. первые особи



Южная амбарная огневка | Клеевой вкладыш феромонной дельтовидной ловушки типа «Атракон-А» | Бархатистый грибоед | Феромонно-клеевая ловушка типа «Книжка» горизонтальная

Рис 3. Доминантные виды вредителей запасов при хранении зерна кукурузы (зернохранилище), Минская обл., 2025 г.

Fig. 3. Dominant species of stored-product pests in stored maize grain (granary), Minsk region, 2025

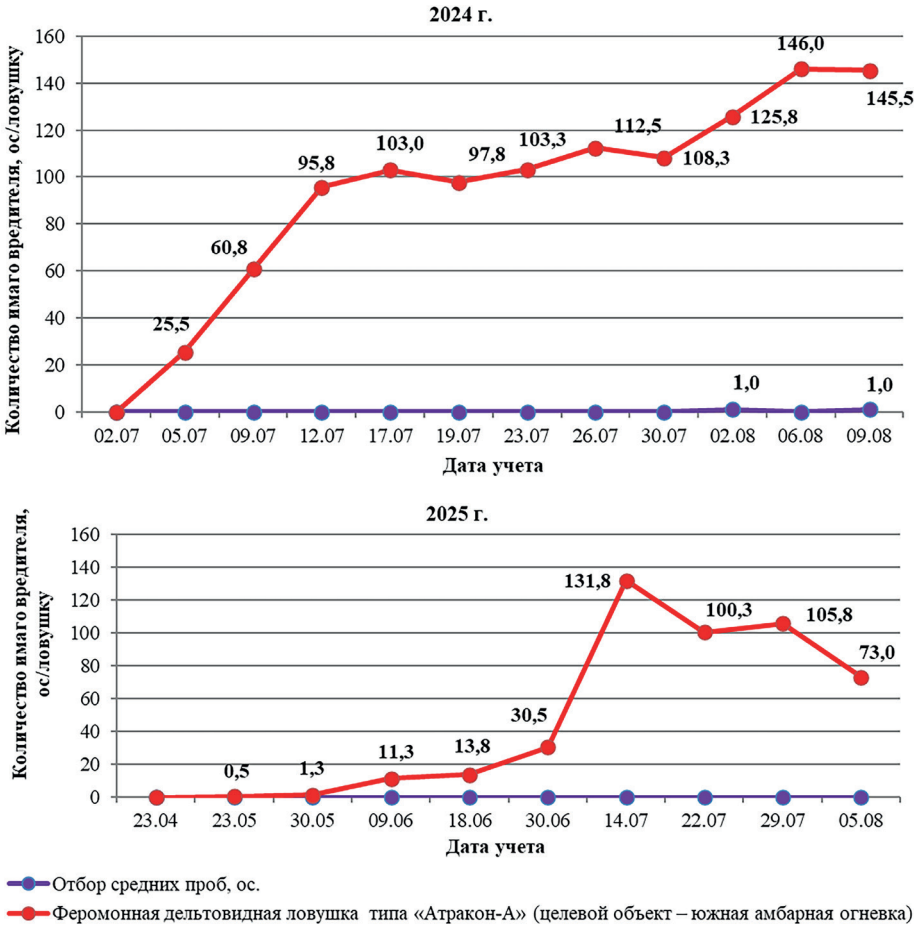



Рис 4. Динамика численности южной амбарной огневки (целевой объект) с использованием разных методов мониторинга (фуражное зернохранилище), Минская обл.

Fig. 4. Dynamics of the number of indian meal moth (the target object) using various monitoring methods (forage granary), Minsk region

имаго южной амбарной огневки зафиксированы 23 мая. Максимальная численность в среднем составила 131,8 ос/ловушку, что пришлось на II декаду июля. Всего за период исследований было отловлено 1 872,0 ос. (468,3 ос/ловушку), что в 2,4 раза меньше по сравнению с предыдущим годом (см. рис. 4).

Полученные данные можно объяснить сложившимися условиями для развития южной амбарной огневки в зоне хранения зерна. В 2024 г. в период проведения учетов максимальная температура воздуха в хранилище достигала +28,9 °С, относительная влажность воздуха – 68,0–77,0 %, влажность зерна кукурузы – 14,7–15,8 %, что соответствовало оптимальным критериям для развития и быстрого размножения вредителя. Согласно данным польских ученых Я. Наврота (J. Nawrot), Т. Клейдыша (T. Klejdysz), в оптимальных условиях (температура воздуха +30,0 °С и относительная влажность воздуха 75,0 %) полный цикл развития южной амбарной огневки в неотапливаемых хранилищах завершается в течение одного месяца [26].

При изучении динамики численности жесткокрылых насекомых с помощью феромономониторинга предполагаемого целевого объекта – амбарного долгоносика – в складском помещении не обнаружено. Однако посредством феромонно-клеевых ловушек типа «Книжка» отловлен бархатистый грибоед: первые особи вредителя были обнаружены в I декаде июля 2024 г. и в III декаде мая 2025 г. Всего за период исследований в 2024 г. насчитывалось 112,0 ос. (28,3 ос/ловушку), в 2025-м этот показатель вырос в 5,7 раза и составил 636,0 ос. (159,2 ос/ловушку) (см. рис. 5).

Полученные данные обусловлены сложившимися условиями: в период проведения учетов максимальная температура воздуха в хранилище достигала +23,5 °С, относительная влажность

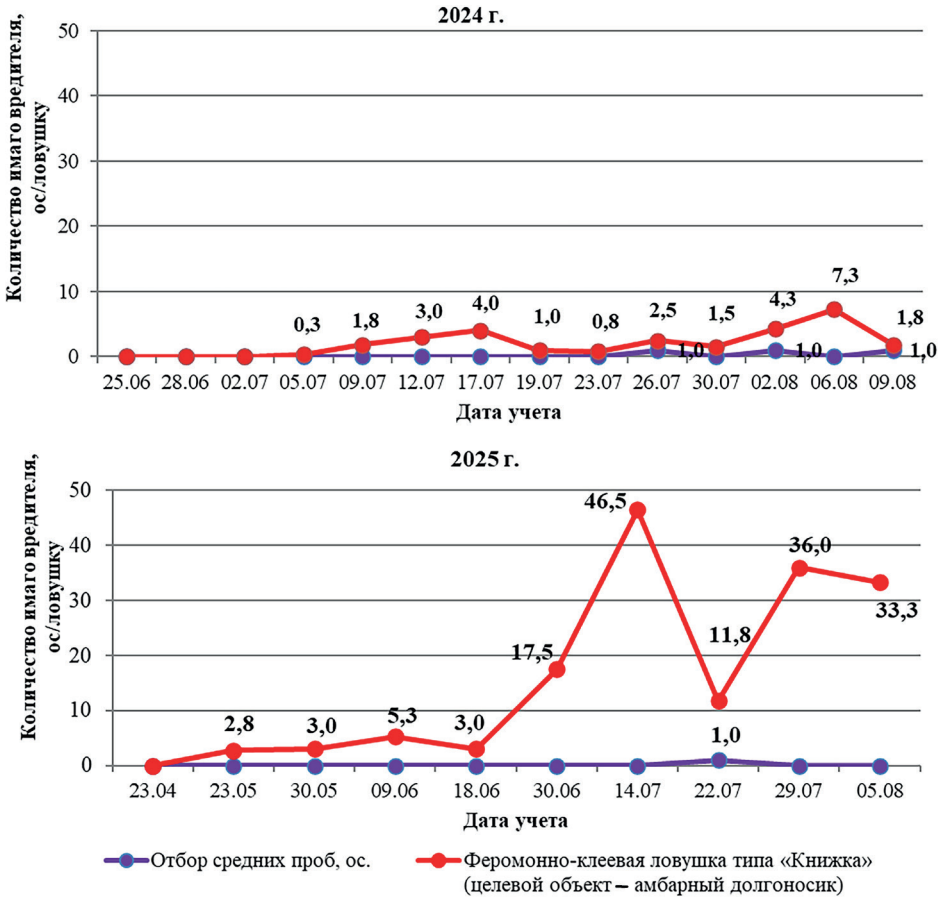



Рис 5. Динамика численности бархатистого грибоеда (нецелевого объекта) с использованием разных методов мониторинга (фуражное зернохранилище), Минская обл.

Fig. 5. Dynamics of the number of hairy fungus beetle (non-target object) using various monitoring methods (forage granary), Minsk region

воздуха – 71,0–86,0 %, влажность зерна кукурузы – 14,2–15,6 %, что соответствовало оптимальным показателям для развития вредителя. Польскими учеными упоминается, что при температуре +25,0 °С и влажности воздуха 80,0–90,0 % период развития одного поколения составляет от 3 до 5 недель [26].

Проводя сравнительный анализ методов мониторинга вредителей запасов в фуражном зернохранилище спустя 8–10 мес. хранения зерна кукурузы определено, что в 2024 г. высокоэффективным являлось использование феромонных ловушек-приманок – 12,7–50,6 %. «Ловушки-просчеты» (без феромона) обеспечивали уловистость в пределах 3,3–3,6 %. Низкоэффективным методом был отбор средних проб с дальнейшим просеиванием на ситах – лишь 0,2 % от общего количества вредителей (табл. 3). В условиях 2025 г. сохранялась тенденция, установленная в 2024 г.: в фуражном зернохранилище стандартным методом было обнаружено лишь 0,01 % от общего количества вредителей, в то время как с помощью феромонных ловушек для отлова целевого объекта южной амбарной огневки – до 32,7 % от общего количества (табл. 4).

Сравнительный анализ эффективности феромонных и светодиодных ловушек для отлова южной амбарной огневки, установленных в фуражном зернохранилище, показал преимущества видоспецифичного феромона (37,5 ос/ловушку в сут, или 46,8 %). В то время как при использовании автономной светодиодной ловушки с питанием от солнечных батарей было отловлено в два раза меньше (22,9 %), что требует дальнейшего изучения с подбором количества и длины волн светодиодов. Уловистость светодиодных клеевых ловушек «Дельта» конструкции ВИЗР (РФ) составляла 30,3 %, а также была трудоемка в эксплуатации в связи с необходимостью постоянного заряда аккумуляторных батарей.

Таблица 3. **Мониторинг членистоногих в техноценозе фуражного зернохранилища в период хранения зерна кукурузы (Минская обл.), 2024 г.**

Table 3. **Monitoring of arthropods during maize grain storage in the technocenosis of the forage granary (Minsk region), 2024**

| Метод учета | Тип ловушки (феромон для целевого объекта) | Количество обнаруженных имаго вредителей, ос., июнь – август | | | Эффективность, % |
|---|---|---|---|---|---|
| | | целевые | нецелевые | всего | |
| Отбор средних проб | Просеивание на ситах | – | – | 14,0* | 0,2 |
| «Ловушки-просчеты» (без феромона) | Контейнерная ловушка типа «Бета» | – | – | 321,7 | 3,6 |
| | Открытая ловушка-западня | – | – | 285,0 | 3,3 |
| Ловушки-приманки (феромонно-клеевые) | Ловушка типа «Книжка» (рисовый долгоносик) | 0 | 1 134,0 | 1 134,0 | 12,7 |
| | Ловушка типа «Книжка» (амбарный долгоносик) | 0 | 1 309,0 | 1 309,0 | 14,7 |
| | Дельтовидная ловушка типа «Атракон-А» (зерновая моль) | 0 | 1 328,3 | 1 328,3 | 14,9 |
| | Дельтовидная ловушка типа «Атракон-А» (южная амбарная огневка) | 4 496,0 | 610,0 | 4 506,0 | 50,6 |
| Всего, ос. | – | – | – | 8 898,0 | – |

* Суммарное количество (живые и мертвые) имаго и гусениц, ос.

* The total number (alive and dead) of imagos and larvae, individuals.

Таблица 4. **Мониторинг членистоногих в техноценозе фуражного зернохранилища в период хранения зерна кукурузы (Минская обл.), 2025 г.**

Table 4. **Monitoring of arthropods during maize grain storage in the technocenosis of the forage granary (Minsk region), 2025**

| Метод учета | Тип ловушки (феромон для целевого объекта) | Количество обнаруженных имаго вредителей, особей, июнь – август | | | Эффективность, % |
|---|---|---|---|---|---|
| | | целевые | нецелевые | всего | |
| Отбор средних проб | Просеивание на ситах | – | – | 1,0 | 0,01 |
| Ловушки-приманки (феромонно-клеевые) | Ловушка типа «Книжка» (амбарный долгоносик) | 0 | 1 298,0 | 1 298,0 | 18,6 |
| | Дельтовидная ловушка типа «Атракон-А» (южная амбарная огневка) | 1 872,0 | 415,0 | 2 287,0 | 32,7 |
| | Контейнерная ловушка типа «Бета» (южная амбарная огневка) | 836,0 | 66,0 | 902,0 | 12,9 |
| | Дельтовидная ловушка типа «Атракон-А» (зерновая/какаовая огневка) | 1,0 | 1 699,0 | 1 700,0 | 24,3 |
| | Контейнерная ловушка типа «Бета» (зерновая/какаовая огневка) | 0 | 807,0 | 807,0 | 11,5 |
| Всего, ос. | – | – | – | 6 995,0 | – |

Также высокая эффективность феромономониторинга (100,0 %) отмечена и в семенных зернохранилищах при хранении зерна кукурузы в биг-бэгах по сравнению со стандартным методом (табл. 5).

Таблица 5. **Сравнительный анализ методов мониторинга южной амбарной огневки в техноценозах зернохранилищ в период хранения семян кукурузы (Гомельская обл.)**

Table 5. **Comparative analysis of monitoring methods of Indian meal moth during maize grain storage in the technocenoses of granaries (seed granaries, Gomel region)**

| Стандартный метод: отбор средних проб | | | Метод ловушек* | |
|---|---|---|---|---|
| Год, период учета | Обследовано хранилищ / т зерна | Количество обнаруженных особей | Количество обнаруженных особей | Эффективность, % |
| 2024 г., с 05.08 по 22.08 | 5/1 829,4 | 0 | 163,0 | 100,0 |
| 2025 г., с 05.05 по 03.10 | 5/1 692,0 | 0 | 1 573,0 | 100,0 |

* Использовали феромон для отлова целевого объекта – южной амбарной огневки.

* A pheromone was used to capture the target object, the indian meal moth.

**Выводы.** Впервые мониторинг вредителей запасов в техноценозах неотапливаемых зернохранилищ республики в период хранения зерна кукурузы, проведенный комплексом методов, показал, что таксономический состав включал 19 видов, относящихся к 2 отрядам и 9 семействам. Отряд Чешуекрылые (Lepidoptera) представлен семействами Настоящие моли

(Tineidae), Настоящие огневки (Pyralidae), отряд Жесткокрылые (Coleoptera) – семействами Долгоносики (Curculionidae), Грибоеды (Mycetophagidae), Кожееды (Dermestidae), Сильваниды (Silvanidae), Скрытноеды (Cryptophagidae), Притворяшки (Ptinidae), Блестянки (Nitidulidae). Феромономониторинг обеспечил наиболее полное выявление видового состава членистоногих (16 видов), продемонстрировав в 3,2 раза более высокую эффективность в сравнении со стандартным методом отбора средних проб.

Установлено, что формирование структуры доминирования энтомофауны определяется технологией складирования и функциональным назначением зерна кукурузы. В хранилищах семенного фонда (хранение в биг-бэгах) зафиксировано абсолютное преобладание представителей отряда Lepidoptera (100,0 %). В то же время в фуражных складах при хранении зерна насыпью спектр вредителей расширяется: при доминировании чешуекрылых (79,6 %) отмечено значительное присутствие жесткокрылых (Coleoptera) – 20,4 %. Южная амбарная огневка (*Plodia interpunctella* Hbn.) классифицирована как эудоминант во всех типах обследованных объектов с индексом доминирования от 78,7 до 99,7 %. При этом бархатистый грибоед (*Typhaea stercorea* L.) выступал в роли доминанта (19,8 %) исключительно в условиях фуражных зернохранилищ. Наблюдения за динамикой численности доминантных вредителей с помощью метода ловушек показали их обнаружение в III декаде мая, спустя 6 мес. хранения зерна. В семенных зернохранилищах лет южной амбарной огневки продолжался до конца октября.

Сравнительный анализ методов мониторинга чешуекрылых и жесткокрылых вредителей запасов выявил их различную эффективность. При хранении фуражного зерна насыпью высокоэффективным являлось использование феромонных ловушек-приманок – 12,7–50,6 %. В то же время «ловушки-просчеты» (без феромона) обеспечивали уловистость в пределах 3,3–3,6 % от общего количества обнаруженных особей. Низкоэффективным являлся стандартный метод – 0,01–0,20 %. При хранении семян кукурузы в биг-бэгах отмечена высокая эффективность феромономониторинга (100,0 %) по сравнению со стандартным методом.

**Благодарности.** Исследования выполнены в рамках Государственной программы научных исследований «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность» на 2024–2025 годы, подпрограмма «Плодородие и защита растений», задание 1.24.1 «Совершенствование мониторинга вредителей кукурузы в период вегетации и при хранении зерна». Идентификация чешуекрылых насекомых проведена на базе Витебского государственного университета имени П. М. Машерова кандидатом биологических наук Е. А. Держинским.

**Acknowledgements.** The research was conducted in the framework of the State Research Program “Agricultural Technologies and Food Security” for 2024–2025, subprogram “Soil Fertility and Plant Protection, under the task «Improving the monitoring of maize pests during the growing season and grain storage». The identification of Lepidoptera insects was carried out at Vitebsk State University named after P. M. Masherov by E. A. Derzhinsky, Ph. D. (Biology).

## Список использованных источников

1. Научные основы технологий возделывания озимых зерновых культур, рапса и кукурузы / А. А. Аутко, Ф. И. Привалов, В. К. Пестис [и др.]; под общ. ред. А. А. Аутко, Ф. И. Привалова. – Мн.: Бел. навука, 2021. – 495 с.

2. Комплекс научно обоснованных мероприятий по повышению эффективности и конкурентоспособности производства зерна кукурузы / Я. Н. Бречко, С. В. Макрак, А. А. Головач [и др.] // Экономические вопросы развития сельского хозяйства Беларуси: межведомств. темат. сб. / Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси. – Мн., 2019. – Вып. 47. – С. 32–43.

3. Головач, А. Некоторые аспекты интенсификации возделывания кукурузы на зерно / А. Головач // Аграрная экономика. – 2019. – № 5 (288). – С. 48–55.

4. Вредители кукурузы, мониторинг и мероприятия по ограничению их численности / Л. И. Трепашко, А. В. Быковская, О. В. Ильюк [и др.]; Нац. акад. наук Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по земледелию, Ин-т защиты растений. – Мн.: Журн. «Белорусское сельское хозяйство», 2021. – 107 с.

5. Бойко, С. В. Регулирование наиболее опасных вредителей кукурузы при помощи эффективных инсектицидов / С. В. Бойко, М. Г. Немкевич // Защита растений: сб. науч. тр. / Науч.-практ. центр НАН Беларуси по земледелию, Ин-т защиты растений. – Мн., 2025. – Вып. 49. – С. 118–129.

6. Кислекова, А. Зерно кукурузы и опасные вредители запасов / А. Кислекова // Наше сельское хозяйство. – 2024. – № 23. – С. 24–32.

7. Nansen, C. Analysis of the insect community in a stored-maize facility / C. Nansen, T. W. Phillips, M. W. Palmer // Ecological Research. – 2004. – Vol. 19, № 2. – P. 197–207. https://doi.org/10.1111/j.1440-1703.2003.00624.x

8. Ахаев, Н. С. Обоснование требований к феромонной ловушке для южной огневки *Plodia interpunctella* НВ. / Н. С. Ахаев, Е. В. Волошко, Г. А. Закладной // Защита от вредителей и санитарная охрана зернопродуктов: сб. науч. тр. / Всесоюз. науч.-исслед. ин-т зерна и продуктов его переработки. – М., 1992. – Вып. 118. – С. 7–12.

9. Mondal, K. A. M. S. H. Response of *Tribolium castaneum* larvae by to synthetic aggregation pheromone / K. A. M. S. H. Mondal, G. R. Port // Entomologia Experimentalis et Applicata. – 1984. – Vol. 36, № 1. – P. 43–46. https://doi.org/10.1007/BF00345203

10. Aggregation pheromones of the grain beetle, *Cryptolestes turcicus* (Coleoptera: Cucujidae) / J. G. Milar, H. D. Pierce, A. M. Pierce [et al.] // Journal of Chemical Ecology. – 1985. – Vol. 11, № 8. – P. 1071–1081. https://doi.org/10.1007/BF01020676

11. Nawrot, J. Owady – szkodniki magazynowe / J. Nawrot. – Warszawa: Themar, 2002. – 149 s.

12. Шкідники хлібних запасів / С. О. Трибель, М. В. Гетьман, О. М. Лапа, О. О. Стригун. – Київ: Колобіг, 2007. – 45 с.

13. Todiraș, V. Protecția integrată și asigurarea calității produselor agroalimentare depozitate: studiu / V. Todiras, T. Tretiacov, I. Balan. – Chișinău: [s. n.], 2008. – 126 p.

14. Пименов, С. В. Чешуекрылые – вредители продовольственных запасов в Ставропольском крае / С. В. Пименов // Защита и карантин растений. – 2011. – № 7. – С. 41–42.

15. Бондаренко, І. В. Порівняльна ефективність методів обліку членистоногих-шкідників запасів зерна / І. В. Бондаренко // Луб'яні та технічні культури. – 2015. – Вип. 4. – С. 110–118.

16. Когтева, Е. Ф. Биологический способ защиты хранящегося какао в бобах от воздействия зерновой (какаовой) огневки / Е. Ф. Когтева // Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд: междунар. науч. сб. / Федер. агентство по гос. резервам, Науч.-исслед. ин-т проблем хранения. – М., 2017. – Вып. 7. – С. 196–200.

17. Long-term rearing affects pheromone-mediated flight behaviour of the Indian meal moth, *Plodia interpunctella* / P. Heydorn, O. Anderbrant, L. J. Jonsson, G. P. Svensson // Journal of Applied Entomology. – 2019. – Vol. 143, № 10. – P. 1193–1195. https://doi.org/10.1111/jen.12697

18. Абасов, А. А. Феромонные ловушки – неотъемлемая часть защиты растений в органическом земледелии / А. А. Абасов, М. М. Шабанова // Органическое сельское хозяйство и биологизация земледелия: материалы ежегод. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (г. Махачкала, 1 нояб. 2023 г.) / Дагестан. гос. аграр. ун-т; отв. ред. Т. Н. Ашурбекова. – Махачкала, 2023. – С. 17–22.

19. Ishikawa, M. Aggregation pheromone interrupts death feigning in the red flour beetle *Tribolium castaneum* / M. Ishikawa, K. Matsumura, T. Miyatake // Journal of Ethology. – 2023. – Vol. 42, № 1. – P. 71–75. https://doi.org/10.1007/s10164-023-00793-2

20. Закладной, Г. А. Защита зерна / Г. А. Закладной. – М.: ДеЛи, 2024. – 618 с.

21. Козич, И. А. Контроль численности мельничной огневки (*Ephestia kuehniella* Zell.) феромонными ловушками в Беларуси / И. А. Козич // Біологічне різноманіття екосистем і сучасна стратегія захисту рослин: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів, 22–23 жовт. 2015 р. / Харків. нац. аграр. ун-т. – Харків, 2015. – С. 46–49.

22. Engelmann, H. D. Zur Dominanklassifizierung von Bodenarthropoden / H. D. Engelmann // Pedobiologia. – 1978. – Vol. 18, № 5–6. – P. 378–380. https://doi.org/10.1016/s0031-4056(23)00612-1

23. Загуляев, А. К. Настоящие моли (Tineidae) / А. К. Загуляев. – М.; Л.: Из-во Акад. наук СССР, 1960. – 276 с. – (Фауна СССР / Зоол. ин-т АН СССР; т. 4, вып. 3).

24. Загуляев, А. К. Моли и огневки – вредители зерна и продовольственных запасов / А. К. Загуляев; Акад. наук СССР, Зоол. ин-т. – М.; Л.: Наука, 1965. – 271 с.

25. Мержеевская, О. И. Чешуекрылые (Lepidoptera) Белоруссии: каталог / О. И. Мержеевская, А. Н. Литвинова, Р. В. Молчанов; под ред. Л. М. Сущени. – Мн.: Наука и техника, 1976. – 132 с.

26. Nawrot, J. Atlas owadów szkodników żywności / J. Nawrot. T. Klejdysz. – Olsztyn: Pol. Stow. Pracowników Dezynfekcji, Dezynsekcji i Deratyzacji, 2009. – 147 s.

27. Gaedike, R. Tineidae II (Myrmecozelinae, Perissomasticinae, Tineinae, Hieroxestinae, Teichobiinae and Stathmopolitinae) / R. Gaedike. – Leiden: Brill, 2019. – 248 p. – (Microlepidoptera of Europe; vol. 9).

28. Ловцова, Ю. А. Иллюстрированный ключ для идентификации гусениц чешуекрылых – вредителей запасов (Lepidoptera), регулируемых странами – импортерами российской зерновой продукции / Ю. А. Ловцова, М. Г. Коваленко, И. О. Камаев // Фитосанитария. Карантин растений. – 2024. – № 4 (21). – С. 7–16.

29. Держинский, Е. А. Методы сбора и определения огнёвкообразных чешуекрылых: метод. рекомендации / Е. А. Держинский; Витеб. гос. ун-т, Каф. фундам. и приклад. биологии. – Витебск: ВГУ, 2024. – 29 с.

## References

1. Autko A. A., Privalov F. I., Pestis V. K., Grakun V. V., Kas'yanchik S. A., Pilyuk Ya. E. [et al.]. *Scientific foundations of cultivation technologies for winter cereals, rapeseed, and maize.* Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2021. 495 p. (in Russian).

2. Brechko Ya. N., Makrak S. V., Golovach A. A, Sednev E. V., Cheplyanskaya N. M. Complex of evidence-based actions for efficiency and competitiveness increase of corn grain production. *Ekonomicheskie voprosy razvitiya sel'skogo khozyaistva Belarusi: mezhvedomstvennyi tematicheskii sbornik = Economic issues of agricultural development of Belarus: cross sectoral subject collection*. Minsk, 2019, iss. 47, pp. 32–43 (in Russian).

3. Golovach A. Some aspects of cultivation intensification of corn on grain. *Agrarnaya ekonomika = Agrarian Economics*, 2019, no. 5, pp. 48–55 (in Russian).

4. Trepashko L. I., Bykovskaya A. V., Il'yuk O. V., Nemkevich M. G., Nadtochaeva S. V., Golunov I. A. *Corn pests, monitoring and measures to limit their numbers*. Minsk, Journal "Belorusskoe sel'skoe khozyaistvo" Publ., 2021. 107 p. (in Russian).

5. Boyko S. V., Nemkevich M. G. Regulation of the most dangerous corn pests with effective insecticides. *Zashchita rastenii: sbornik nauchykh trudov* [Plant protection: collection of scientific papers]. Minsk, 2025, iss. 49, pp. 118–129 (in Russian).

6. Kislekova A. Corn grain and dangerous pests of stored products. *Nashe sel'skoe khozyaistvo* [Our Agriculture], 2024, no. 23, pp. 24–32 (in Russian).

7. Nansen C., Phillips T. W., Palmer M. W. Analysis of the insect community in a stored-maize facility. *Ecological Research*, 2004, vol. 19, no. 2, pp. 197–207. https://doi.org/10.1111/j.1440-1703.2003.00624.x

8. Akhaev N. S., Voloshko E. V., Zakladnoi G. A. Justification of requirements for a pheromone trap for the Indian meal moth *Plodia interpunctella* Hbn. *Zashchita ot vreditelei i sanitarnaya okhrana zernoproduktov: sbornik nauchnykh trudov* [Pest protection and sanitary protection of grain products: collection of scientific papers]. Moscow, 1992, iss. 118, pp. 7–12 (in Russian).

9. Mondal K. A. M. S. H., Port G. R. Response of *Tribolium castaneum* larvae by to synthetic aggregation pheromone. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 1984, vol. 36, no. 1, pp. 43–46. https://doi.org/10.1007/BF00345203

10. Milar J. G., Pierce H. D., Pierce A. M., Oehlschlager A. C., Borden J. H. Aggregation pheromones of the grain beetle, *Cryptolestes turcicus* (Coleoptera: Cucujidae). *Journal of Chemical Ecology*, 1985, vol. 11, no. 8, pp. 1071–1081. https://doi.org/10.1007/BF01020676

11. Nawrot J. *Owady – szkodniki magazynowe*. Warszawa, Themar, 2002. 149 p. (in Polish).

12. Tribel' S. O., Get'man M. V., Lapa O. M., Strigun O. O. *Pests of bread stocks*. Kyiv, Kolobig Publ., 2007. 45 p. (in Ukrainian).

13. Todiraș V., Tretiacov T., Balan I. *Protecţia integrată şi asigurarea calităţii produselor agroalimentare depozitate: studio* [Integrated protection and quality assurance of stored agri-food products: study]. Chișinău, 2008. 126 p.

14. Pimenov S. V. Lepidopterous insects – pests of food stocks in the Stavropol territory. *Zashchita i karantin rastenii = Plant Protection and Quarantine*, 2011, no. 7, pp. 41–42 (in Russian).

15. Bondarenko I. V. The comparative efficiency of accounting methods of arthropod pests of grain stocks. *Lub'yani ta tekhnichni kul'turi = Bast and Technical Crops*, 2015, iss. 4, pp. 110–118 (in Ukrainian).

16. Kogteva E. F. A biological way to protect stored cocoa beans from the effects of cereal (cocoa) moth. *Innovatsionnye tekhnologii proizvodstva i khraneniya material'nykh tsennostei dlya gosudarstvennykh nuzhd: mezhdunarodnyi nauchyi sbornik* [Innovative technologies for the production and storage of material assets for state needs: international scientific collection]. Moscow, 2017, iss. 7, pp. 196–200 (in Russian).

17. Heydorn P., Anderbrant O., Jonsson L. J., Svensson G. P. Long-term rearing affects pheromone-mediated flight behaviour of the Indian meal moth, *Plodia interpunctella*. *Journal of Applied Entomology*, 2019, vol. 143, no. 10, pp. 1193–1195. https://doi.org/10.1111/jen.12697

18. Abasov A. A., Shabanova M. M. Pheromone traps are an integral part of plant protection in organic farming. *Organicheskoe sel'skoe khozyaistvo i biologizatsiya zemledeliya: materialy ezhegodnoi Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem (g. Makhachkala, 1 noyabrya 2023 g.)* [Organic agriculture and biologization of farming: materials of the annual All-Russian scientific and practical conference with international participation (Makhachkala, November 1, 2023)]. Makhachkala, 2023. pp. 17–22 (in Russian).

19. Ishikawa M., Matsumura K., Miyatake T. Aggregation pheromone interrupts death feigning in the red flour beetle *Tribolium castaneum*. *Journal of Ethology*, 2023, vol. 42, no. 1, pp. 71–75. https://doi.org/10.1007/s10164-023-00793-2

20. Zakladnoi G. A. *Grain protection*. Moscow, DeLi Publ., 2024. 618 p. (in Russian).

21. Kozich I. A. Control of the number of the mill moth (*Ephestia kuehniella* Zell.) with pheromone traps in Belarus. *Biologichne riznomanittya ekosistem i suchasna strategiya zakhistu roslin: materiali mizhnarodnoi naukovo-praktichnoi konferentsii molodikh uchenikh ta studentiv, 22–23 zhovtnya 2015 r.* [Biological diversity of ecosystems and the daily strategy of zakhistu roslin: materials of the international. scientific-practical conf. young scientists and students, June 22–23, 2015]. Kharkiv, 2015, pp. 46–49 (in Russian).

22. Engelmann, H. D. Zur Dominanklassifizierung von Bodenarthropoden. *Pedobiologia*, 1978, vol. 18, no. 5–6, pp. 378–380. https://doi.org/10.1016/s0031-4056(23)00612-1

23. Zagulyaev A. K. *Tineid Moths (Tineidae). Fauna of the USSR, vol. 4, iss. 3*. Moscow, Leningrad, Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1960. 276 p. (in Russian).

24. Zagulyaev A. K. *Tineid and pyralid moths – pests of grain and food reserves*. Moscow, Leningrad, Nauka Publ., 1965. 271 p. (in Russian).

25. Merzheyevskaya O. I., Litvinova A. N., Molchanov R. V. *Lepidoptera of Belarus: catalog.* Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1976. 132 p. (in Russian).

26. Nawrot J., Klejdysz T. *Atlas of Insect Pests of Food*. Olsztyn, Polskie Stowarzyszenie Pracowników Dezynfekcji, Dezynsekcji i Deratyzacji, 2009. 147 p. (in Polish).

27. Gaedike R. *Tineidae II (Myrmecozelinae, Perissomasticinae, Tineinae, Hieroxestinae, Teichobiinae and Stathmopolitinae). Microlepidoptera of Europe, vol. 9.* Leiden, Brill, 2019. 248 p.

28. Lovtsova Ju. A., Kovalenko M. G., Kamayev I. O. Illustrated identification key for lepidoptera larvae – stored product pests regulated by countries importing Russian grain products. *Fitosanitariya. Karantin rastenii = Plant Health and Quarantine*, 2024, no. 4 (21), pp. 7–16 (in Russian). https://doi.org/10.69536/FKR.2024.17.34.002

29. Derzhinskii E. A. *Methods for collecting and identifying pyralid Lepidoptera: methodological guidelines.* Vitebsk, Vitebsk State University, 2024. 29 p. (in Russian).

## Информация об авторе

*Бречко Елена Владимировна* – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории энтомологии, Институт защиты растений, Национальная академия наук Беларуси (ул. Мира, 2, 223011, Прилуки, Минский район, Минская область, Республика Беларусь). https://orcid.org/0000-0002-7242-1272. E-mail: recommendstored@yandex.by

## Information about the author

*Elena V. Brechko* – Ph. D. (Agricultural), Associate Professor, Leading Researcher of the Entomology Lab, Institute of Plant Protection, the National Academy of Sciences of Belarus (2, Mira Str., 223011, Priluki, Minsk District, Minsk Region, Republic of Belarus). https://orcid.org/0000-0002-7242-1272. E-mail: recommendstored@yandex.by

ISSN 1817-7204 (Print)
ISSN 1817-7239 (Online)
UDC 633.11:631.524
https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-4-300-306

Поступила в редакцию 14.01.2026
Received 14.01.2026

**Gonca UĞURBAŞÇİÇEK, Fatma AYKUT TONK**

*Ege University, Faculty of Agriculture, Department of Field Crops, İzmir, Türkiye*

# EFFECTS OF DWARFING GENE *RHT5* ON COLEOPTILE LENGTH, SOME AGRONOMIC AND SEED TRAITS IN BREAD WHEAT

**Abstract.** *Rht5* is a gibberellin-sensitive dwarfing gene and reduces plant height without affecting early growth. In this study, the effects of dwarfing gene *Rht5* on coleoptile length, some agronomic and seed traits were revealed in an $F_4$ population obtained from a cross between Marj12 (semi-dwarf, *Rht5*) and Scholar (tall). The genotypes of $F_4$ individuals were screened using SSR marker BARC102 linked with the *Rht5* gene and the dwarf, tall and heterozygous individuals were identified. Analysis of variance in the $F_4$ population indicated highly significant differences among the lines for all traits studied, suggesting genetic differences existed for all traits among these lines. In general, the *Rht5* dwarfing gene was associated with plant height and peduncle length reduction of 25.44 and 22.28 %, respectively, as well as decreases in spike length, number of spikelets, and kernels per spike. Higher values of kernel weight, seed width and seed length could be observed in the tall lines when compared to the dwarf lines. The dwarfing gene *Rht5* increased coleoptile length by 6.03 % in dwarf lines and also increased primary root number and first leaf length. The results of the study could contribute to the proper use of dwarfing gene *Rht5* in breeding programs aimed at modifying plant height and coleoptile length in wheat.

**Keywords:** wheat, dwarfing gene, *Rht5*, agronomic traits, coleoptile length

**For citation:** Uğurbaşçiçek Gonca, Aykut Tonk Fatma. Effects of dwarfing gene *Rht5* on coleoptile length, some agronomic and seed traits in bread wheat. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2026, vol. 64, no. 4, pp. 300–306. https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-4-300-306

**Гонджа Угурбашчичек, Фатма Айкут Тонк**

*Эгейский университет, сельскохозяйственный факультет, кафедра полевых культур, Измир, Турция*

## ВЛИЯНИЕ ГЕНА КАРЛИКОВОСТИ *RHT5* НА ДЛИНУ КОЛЕОПТИЛЯ, НЕКОТОРЫЕ АГРОНОМИЧЕСКИЕ И СЕМЕННЫЕ ПРИЗНАКИ ХЛЕБНОЙ ПШЕНИЦЫ

**Аннотация.** Ген карликовости *Rht5*, чувствительный к гиббереллину, снижает высоту растений, не влияя на ранний рост. В данном исследовании изучалось влияние гена карликовости *Rht5* на некоторые агрономические признаки, длину колеоптиля и характеристики семян в популяции $F_4$, полученной в результате скрещивания сортов Marj12 (полукарликовый, *Rht5*) и Scholar (высокорослый). Генотипы гибридов $F_4$ были проверены с использованием SSR-маркера BARC102, сцепленного с геном *Rht5*, и идентифицированы карликовые, высокорослые и гетерозиготные особи. Дисперсионный анализ в популяции $F_4$ показал высокозначимые различия между линиями по всем изученным признакам, что свидетельствует о наличии генетических различий по всем признакам между ними. В целом ген карликовости *Rht5* был связан с уменьшением высоты растения и длины подколосового междоузлия на 25,44 и 22,28 % соответственно, а также с уменьшением длины колоса, количества колосков и зерен в колосе. У высоких линий наблюдались более высокие значения массы зерна, ширины и длины семян по сравнению с карликовыми линиями. Ген карликовости *Rht5* увеличил длину колеоптиля на 6,03 % у карликовых линий, а также количество первичных корней и длину первого листа. Результаты исследования могут помочь в правильном использовании гена карликовости *Rht5* в селекционных программах для изменения высоты растения и длины колеоптиля у пшеницы.

**Ключевые слова:** пшеница, ген карликовости, *Rht5*, агрономические признаки, длина колеоптиля

**Для цитирования:** Угурбашчичек, Гонжа. Влияние гена карликовости *Rht5* на длину колеоптиля, некоторые агрономические и семенные признаки хлебной пшеницы / Гонжа Угурбашчичек, Фатма Айкут Тонк // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2026. – Т. 64, № 4. – С. 300–306. https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-4-300-306

**Introduction.** Various plant genetic resources were discovered in the 1900s and have been used, developed, and preserved to the present day. In the 20th century, scientists developed the Norin 10 variety by crossing Turkish Red Winter wheat with Daruma wheat [1]. The dwarf Norin 10 variety was crossed with Brevor, a local American variety, and high-yielding varieties were obtained from these lines,

© Uğurbaşçiçek Gonca, Aykut Tonk Fatma, 2026

which were investigated by Dr. Borlaug and his colleagues [2]. Transferring dwarfing genes to existing high-yielding varieties has resulted in a net increase in harvest index of over 50 % [3]. Cultivation of these high-yielding varieties began to spread rapidly worldwide in the 1950s, and they have also found widespread cultivation in Türkiye.

After the Green Revolution, semi-dwarf wheat varieties played an important role in wheat breeding [4]. Genes that eliminated lodging problems and shortened plant height in high-yielding varieties known as Mexican wheat were designated as *Rht* (Reduced height) genes. The development of semi-dwarf wheat genotypes resulted in increased grain yield [5]. Coleoptile length and plant height were independent traits in varieties lacking the *Rht* gene, while in varieties carrying the *Rht* gene, a positive correlation was observed between plant height and coleoptile length, and a positive correlation was also observed between grain yield and plant height [6].

To date, 21 *Rht* genes have been identified [7], the most widely known and used genes worldwide being *Rht-B1b* (*Rht1*) and *Rht-D1b* (*Rht2*) [8, 9]. The *Rht2* gene has been shown to have a more dominant effect on plant height than the *Rht1* gene [10, 11]. Other dwarfing genes, *Rht3*, *Rht4*, *Rht5*, *Rht6*, *Rht7*, *Rht8*, *Rht12* and *Rht13*, have also been reported to reduce plant height (7–55 %) and grain yield [8, 12–15].

*Rht* genes are divided into two groups, depending on their response to gibberellic acid, as gibberellic acid sensitive or insensitive genes [16]. It is known that *Rht1*, *Rht2*, *Rht3* and *Rht10* genes are insensitive to gibberellic acid, while other dwarfing genes are sensitive. The gibberellin-sensitive dwarfing genes decrease plant height while having small or negligible effects on coleoptile length [17–19]. Similarly, *Rht5* is a gibberellin-sensitive dwarfing gene that reduces plant height without affecting early growth [19]. Significant relationships have been identified between the *Rht5* gene and plant height [13, 15]. One study reported that the *Rht5* gene causes a 55 % reduction in plant height [13]. Although some researchers have observed dwarfing genes in the $F_1$ generation, dwarfism is generally observed in the $F_2$ generation and subsequent generations [20–22].

In order to further increase yield in wheat and to create a broader genetic base for dwarfing genes, it is essential to search for additional dwarfism sources. In this study, the SSR marker for the *Rht5* gene was used in the $F_4$ generation of a cross between the Marj12 genotype carrying the *Rht5* gene and the Scholar bread wheat variety to identify plants carrying the gene. The effects of the *Rht5* dwarfing gene on seed characteristics, coleoptile lengths, plant heights and some other agronomic traits of the plants in the $F_4$ generation lines were investigated.

**Materials and Methods.** The material for this study consisted of the $F_4$ generation of a cross between Marj12 and Scholar bread wheat varieties. The Marj12 genotype possesses the *Rht5* gene, while Scholar lacks this gene and carries no dwarfing genes [23]. The crossing and $F_1$, $F_2$, $F_3$ generations were acquired in a wheat breeding program of the Soil and Crop Sciences Department of Colorado State University. The 65 $F_4$ lines were grown under rainfed conditions at Ege University, Faculty of Agriculture, Department of Field Crops experimental fields in the 2014–2015 wheat growing season. The trial was conducted using an augmented design with 5 blocks. Four regional standard varieties (Cumhuriyet, Ziyabey, Basribey and Sagittario) were repeated in each block as controls. The 65 $F_4$ lines, their parents and control genotypes were planted in two rows of 1 m length with a spacing of 20 cm between rows and 5 cm between plants. The soil of the experimental area has a heavy soil structure; silty clay soil at 0–20 cm depth and clay-loam soil at 20–40 cm depth. Fertilizer was applied in equal amounts at planting time and stem elongation period, totaling 160 kg N $ha^{-1}$ and 60 kg P $ha^{-1}$.

The precipitation and temperature averages of the growing seasons and long-term average in the experimental area are presented in Table 1. The average temperatures and rainfall of the growing season did not differ significantly from the long-term average values.

The plant height, peduncle length, spike length, spikelet number and kernel number per spike were measured on ten plants of each $F_4$ line, the control genotypes and the parents at maturity. Also, kernel weight, seed width, seed length, coleoptile length, primary root number and first leaf length were evaluated in ten seeds each from each genotype. Coleoptile length, primary root number, and the first leaf length were measured following Jamali and Arain [24]. The seeds were soaked in a 2.5 % sodium hypochlorite (NaClO) solution for 2–3 minutes for sterilization, then rinsed in double-distilled pure water for 2–3 minutes. The sterilized seeds were placed in a PVC and paper towel-lined container and rolled

up. The rolls were then placed in a germination chamber and kept in a container filled with sufficient water in complete darkness for 13 days under observation. Coleoptile length, primary root number, and the first leaf length were measured at the end of the observation period.

T a b l e 1. **Climate data for Izmir province in the 2014–2015 wheat growing season**

| Month, year | Average temperature (°C) | Long years avg. (°C) | Rain distribution (mm) | Long years avg. (mm) |
|---|---|---|---|---|
| November 2014 | 13.2 | 13.6 | 15.2 | 73.0 |
| December 2014 | 11.1 | 10.0 | 206.8 | 161.9 |
| January 2015 | 8.9 | 9.0 | 125.1 | 123.7 |
| February 2015 | 9.5 | 9.1 | 101.9 | 82.4 |
| March 2015 | 11.7 | 11.6 | 75.6 | 88.9 |
| April 2015 | 15.9 | 15.6 | 46.4 | 56.0 |
| May 2015 | 20.8 | 20.3 | 30.9 | 19.5 |
| June 2015 | 25.6 | 25.1 | 9.8 | 30.0 |
| Average / Total | 14.5 | 14.2 | 611.7 | 635.4 |

DNA isolation from young leaves of the 65 $F_4$ lines was performed using DNA mini-extraction from fresh leaf tissue [25]. The purity of the DNA template was investigated using A260 : A280 absorbance ratio. DNA of all samples was diluted to 25 ng/µl using the absorbance value measured at 260 nm. The presence of the *Rht5* gene was confirmed at the molecular level using SSR marker Barc102 published by Ellis et al. [26] (Table 2). The polymerase chain reaction (PCR) was performed in a total volume of 10 µl according to Tonk et al. [27]. Amplification was performed in an Eppendorf thermocycler (Eppendorf, Germany) using the protocol described by Tonk et al. [27]. After PCR, the samples were separated on 8 % non-denatured polyacrylamide gel at 90 V for 16 h with 0.5× TBE buffer using a Bio-Rad Protean II xi Cell electrophoresis system (Bio-Rad, Hercules, CA, USA). The gels were stained with ethidium bromide and visualized using a UV transilluminator (Vilber Lourmat, Marne-la-Vallee, France).

T a b l e 2. **Base sequence and chromosome location of Barc102 SSR primer**

| Marker | Base sequence | Primer type | Chromosome Location |
|---|---|---|---|
| Xbarc102 | GGAGAGGACCTGCTAAAATCGAAGACA | Forward Primer | 3B |
| | GCGTTTACGGATCAGTGTTGGAGA | Reverse Primer | |

To determine significant differences among the genotypes, all data were subjected to analysis of variance (ANOVA) according to Steel and Torrie [28], using JMP 7.0 statistical software from SAS. SSR marker bands of $F_4$ lines were scored as the presence of maternal band (A), paternal band (B) or both maternal and paternal bands i.e., heterozygous (H) [27, 29]. The results were analyzed for conformity with the expected 7A : 2H : 7B genotypic segregation ratio for a codominant marker in an $F_4$ population using chi-square ($\chi^2$) goodness-of-fit test:

$$\chi^2 = \sum \frac{(\text{Observed} - \text{Expected})^2}{\text{Expected}}.$$

The chi-square values found were compared with the chi-square table values and the hypothesis was accepted or rejected according to these values. The relative effect of *Rht5* gene was compared as a percent change between the tall and the dwarf groups [22]:

$$\%\text{change}_{Rth5\text{gene}} = \frac{\text{Mean}_{\text{tall}} - \text{Mean}_{\text{dwarf}}}{\text{Mean}_{\text{tall}}} 100.$$

**Results and Discussion.** The estimation of the mean squares for the investigated traits in the $F_4$ lines from Marj12 (*Rht5*) × Scholar cross are shown in Table 3. As seen in the Table, the differences among the lines for all traits were statistically significant ($p \leq 0.01$), suggesting genetic differences existed for

all traits among the $F_4$ lines. Similar to our results, Daoura et al. [14] reported highly significant differences among all the $F_{2:3}$ lines of Ningchun10 (*rht5*) × Marfed M (*Rht5*) for all the traits investigated except for biomass, grain yield and harvest index using ANOVA.

T a b l e 3. **Analysis of variance (Mean Squares) of investigated traits in $F_4$ lines of Marj12 (*Rht5*) × Scholar cross**

| Source of variation (SV) | Plant height (PH), cm | Peduncle length (PL), cm | Spike length (SpL), cm | Spikelet number (SN) | Kernel number per spike (KN) | Kernel weight (KW), g | Seed width (SW), mm | Seed length (SeL), mm | Coleoptile length (CL), cm | Primary root number (PRN) | First leaf length (FL), cm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Block | 1.82 | 7.10 | 2.20 | 8.75 | 1.83 | 1.04 | 0.00 | 0.00 | 5.56 | 5.70 | 0.02 |
| Genotype | 31207.80* | 4298.01* | 234.54* | 365.78* | 9646.79* | 0.01* | 36.31* | 28.39* | 114.06* | 141.92* | 425.43* |

* Significant at $\alpha = 0.01$.

The presence of *Rht5* gene was confirmed at the DNA level using SSR marker Barc102 in the $F_4$ lines; the mother parent Marj12 was used as a positive control and the father parent Scholar as a negative control. Barc102 marker produced a band approximately 150 bp long in Scholar. Marj12 parent, which possesses the *Rht5* gene, had a smaller band of 140 bp. Ellis et al. [26] mapped *Rht5* on chromosome 3BS and they amplified a 200 bp band in Marfed M (*Rht5*) and a 165 bp band in the Vigour 18 parent of mapping population using Barc102 marker. Most of the lines in the Marj12 × Scholar population could be readily classified as tall (*rht5*), short (*Rht5*) or heterozygous. According to the Barc102 marker results, 19 individuals from the 65 $F_4$ lines carried the *Rht5* gene, while 34 lines carried the *rht5* gene and 12 individuals were observed to be heterozygous (Table 4). The chi-square test showed the significant differences between the expected and the observed ratios of *Rht5* gene segregation ($\chi^2 = 6.067 > \chi^2 = 5.99$, $p = 0.05$, df = 2). This means that the observed values do not match the expected values of the segregation of a single gene in the $F_4$ generation.

T a b l e 4. **Distribution of $F_4$ population individuals in terms of *Rht5* gene according to Xbarc102 marker**

| Genotype class | Number of individuals | | Chi-square values |
|---|---|---|---|
| | Observed | Expected | |
| Maternal band pattern | 19 | 28.438 | 3.132 |
| Paternal band pattern | 34 | 28.438 | 1.087 |
| Heterozygous band pattern | 12 | 8.125 | 1.848 |
| Total | 65 | 65.000 | $6.067^{ns}$ |

N o t e. $^{ns}$ – Non-significant of $\chi^2$ ($p = 0.05$, df = 2 for $F_4$) = 5.99.

The mean values for the tall, dwarf and heterozygous $F_4$ plants and the mean differences between the tall and dwarf group, and the effects of *Rht5* on the investigated traits were calculated and shown in Table 5. The mean values of all traits except coleoptile length, primary root number and first leaf length were higher in tall lines than in dwarf lines. Notably, the heterozygous lines had higher values for peduncle length and the seed characteristics such as kernel weight, seed width, seed length. The plant height and peduncle length of the tall lines were higher than those of the dwarf $F_4$ lines by 25.44 % and 22.28 %, respectively. This means that the dwarfing gene *Rht5* has a high effect on plant height and peduncle length of the lines. In a study investigating the genetic effects of the *Rht5* gene, plant height and peduncle length of the $F_{2:3}$ lines from the Marfed M (*Rht5*) cross were found to be 22.4 % and 20.4 % lower, respectively [14]. In another study by the same researchers, an average of 25.84 % reduction in plant height could be associated with *Rht5* [15]. However, Rebetzke et al. [13] reported the largest reduction (–55 %) in plant height associated with *Rht5*. Cui et al. [30] emphasized that the plant height of *Rht5* dwarf lines was reduced by 32.67 % and 27.84 % in the Jinmai47 and Ningchun45 population, respectively. As can be seen from these comparisons, the results obtained from this study were more consistent with those of both Daoura et al. studies [14, 15].

T a b l e 5. **The effects of *Rht5* gene on the investigated traits in the $F_4$ lines of Marj12 (*Rht5*) × Scholar cross**

| Traits | Tall (*rht5*) | Range | Dwarf (*Rht5*) | Range | Heterozygous (*Rht5rht5*) | Range | Difference (tall-dwarf) | Effect (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Plant height (PH), cm | 100.45 ± 14.11 | 59.00–127.75 | 74.89 ± 21.96 | 44.50–117.16 | 95.46 ± 8.52 | 81.80–108.12 | 25.56 | 25.44 |
| Peduncle length (PL), cm | 37.88 ± 5.21 | 22.12–48.18 | 29.44 ± 8.99 | 20.37–51.05 | 39.77 ± 5.62 | 33.10–47.75 | 8.44 | 22.28 |
| Spike length (SpL), cm | 8.45 ± 1.46 | 5.41–12.25 | 7.00 ± 1.57 | 4.35–9.20 | 8.08 ± 1.72 | 5.60–10.50 | 1.45 | 17.16 |
| Spikelet number (SN) | 18.64 ± 1.93 | 15.20–23.40 | 16.70 ± 2.89 | 11.40–22.80 | 17.90 ± 1.66 | 14.80–19.40 | 1.94 | 10.41 |
| Kernel number per spike (KN) | 40.07 ± 9.11 | 23.20–71.00 | 30.23 ± 15.16 | 12.40–64.80 | 36.30 ± 10.37 | 23.20–54.00 | 9.84 | 24.56 |
| Kernel weight (KW), g | 0.0423 ± 0.0084 | 0.0201–0.0579 | 0.0363 ± 0.0100 | 0.0306–0.0390 | 0.0429 ± 0.0070 | 0.0464–0.0520 | 0.006 | 14.18 |
| Seed width (SW), mm | 3.22 ± 0.31 | 2.54–3.81 | 2.93 ± 0.41 | 2.60–3.34 | 3.28 ± 0.31 | 3.52–3.57 | 0.29 | 9.00 |
| Seed length (SeL), mm | 6.02 ± 0.38 | 6.75–5.14 | 5.18 ± 0.51 | 4.85–6.81 | 6.12 ± 0.29 | 5.75–6.50 | 0.84 | 13.95 |
| Coleoptile length (CL), cm | 7.46 ± 0.98 | 5.50–10.25 | 7.91 ± 0.98 | 5.83–9.50 | 7.17 ± 1.37 | 5.25–9.50 | –0.45 | –6.03 |
| Primary root number (PRN) | 4.66 ± 0.73 | 3.00–6.00 | 4.73 ± 0.73 | 3.50–6.00 | 4.69 ± 0.75 | 3.30–6.00 | –0.07 | –1.50 |
| First leaf length (FL), cm | 13.00 ± 2.39 | 7.70–18.75 | 13.87 ± 2.10 | 9.58–16.83 | 13.44 ± 2.64 | 10.00–17.00 | –0.87 | –6.69 |

N o t e. The data represented as the mean ± standard deviation (SD).

The spike length of the tall $F_4$ lines was 1.45 cm (17.16 %) greater than that of the dwarf F4 lines. The effect of the *Rht5* gene on the number of spikelets per spike was observed to be lower compared to spike length, and 10 % more spikelets were observed in tall lines than in dwarf $F_4$ lines. Higher spike length caused a significant increase in the number of kernels per spike. The kernel number per spike of the tall lines was 9.84 kernels (24.56 %) greater than that of the dwarf $F_4$ lines. The effect of the *Rht5* gene on spike traits has been previously reported, with similar trends: spike length, spikelet number, and grain number were reported as higher values in tall groups than in the dwarf groups by 16.35 %, 7.53 %, and 13.84 % [14] and 21.16 %, 11.51 %, and 38.1 % [15], respectively.

Although the seed traits such as kernel weight, seed width and seed length had the highest values in heterozygotes, the tall lines had higher values than the dwarf lines by 14.18 %, 9 % and 13.95 %, respectively. Similar findings were reported by Cui et al. [30] that the grains of dwarf lines had significantly lower grain length, grain width and thickness in all progenies of the two populations.

In the study, one of the features for which higher values were measured in dwarf lines was the coleoptile length and it was obtained as 6.03 % higher in dwarf lines. Coleoptile length is an important factor determining sowing depth in wheat. A long coleoptile is a desirable trait in wheat, but as coleoptile length increases, there is a parallel increase in plant height [31–33] and this is undesirable. From this perspective, in our study dwarf lines carrying the *Rht5* gene had longer coleoptile lengths. The dwarfing genes *Rht1* and *Rht2*, which are commonly found in wheat varieties, are the gibberellin-insensitive genes and cause reductions in coleoptile length and seedling vigor [22, 26, 34]. Although the GA-responsive *Rht5* gene caused a decrease in plant height, it caused an increase in coleoptile length in this study. Similar results were observed for primary root number and first leaf length. The primary root number and first leaf length of the dwarf lines had higher values than those of the tall lines by 1.5 % and 6.69 %. This shows that the lines carrying the *Rht5* gene may show improved seedling vigor.

**Conclusion.** The present study revealed the association of the GA-responsive *Rht5* gene with reductions in plant height, peduncle length, spike length, number of spikelets, kernels per spike, kernel weight, seed width, and seed length. However, in contrast to these reductions, the *Rht5* gene had an enhancing effect on coleoptile length, primary root number, and first leaf length. Coleoptile length is an important factor determining sowing depth in wheat. The high-yielding modern wheat varieties widely

used today have short coleoptile lengths. Therefore, they will not be able to meet expectations in a world that is becoming increasingly arid and where deep seeding is becoming increasingly important. For this reason, it is recommended that the dwarfing gene *Rht5* be taken into consideration in the development of new wheat varieties suitable for changing climatic and environmental conditions.

**Acknowledgements.** We would like to thank Ege University Scientific Research Projects Commission for financial support to carry out this study (Project no: 15-ZRF-051, PI: 326).

**Благодарности.** Выражаем благодарность Комиссии по научно-исследовательским проектам Эгейского университета за финансовую поддержку при проведении данного исследования (номер проекта: 15-ZRF-051, номер руководителя проекта: 326).

## References

1. Wilhelm E. P., Boulton M. I., Barber T. E. S., Greenland A. J., Powell W. Genotype analysis of the wheat semidwarf *Rht-B1b* and *Rht-D1b* ancestral lineage. *Plant Breeding*, 2013, vol. 132, no. 6, pp. 539–545. https://doi.org/10.1111/pbr.12099

2. Rajaram S., Borlaug N. E., Van Ginkel M. CIMMYT international wheat breeding. *Bread wheat: improvement and production*. *FAO Plant Production and Protection Series, no. 30*. Rome, 2002, pp. 103–117.

3. Evans L. T. *Feeding the ten billion: plant and population growth*. Cambridge, Cambridge University Press, 1998. 245 p.

4. Singh R. P., Huerta-Espino J., Rajaram S., Crossa J. Grain yield and other traits of tall and dwarf isolines of modern bread and durum wheats. *Euphytica*, 2001, vol. 119, no. 1–2, pp. 241–244. https://doi.org/10.1023/A:1017541805454

5. Tang N., Jiang Y., He B., Hu Y. The effects of dwarfing genes (*Rht-B1b*, *Rht-D1b*, and *Rht8*) with different sensitivity to GA3 on the coleoptile length and plant height of wheat. *Agricultural Science in China*, 2009, vol. 8, no. 9, pp. 1028–1038. https://doi.org/10.1016/S1671-2927(08)60310-7

6. Trethowan R. M., Singh R. P., Huerta-Espino J., Van Ginkel M. Coleoptile length variation of near-isogenic *Rht* lines of modern CIMMYT bread and durum wheats. *Field Crops Research*, 2001, vol. 70, no. 3, pp. 167–176. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(00)00153-2

7. McIntosh R. A., Hart G. E., Gale M. D. Catalogue of gene symbols for wheat. *Proceedings of the 8th International wheat genetics symposium, 20–25 july 1993, Beijing, China*. Beijing, 1995, pp. 1333–1500.

8. Gale M. D., Youssefian S. Dwarfing genes in wheat. *Progress in Plant Breeding–1*. London, 1985, pp. 1–35. https://doi.org/10.1016/b978-0-407-00780-2.50005-9

9. Gent M. P. N., Kiyomoto R. K. Physiological and agronomic consequence of Rht genes in wheat. *Journal of Crop Production*, 1998, vol. 1, no. 1, pp. 27–46. https://doi.org/10.1300/J144v01n01_02

10. Allan R. E. Differentiating between two Norin 10/Brevor 14 semidwarf genes in a common genetic background. *Seiken Ziho*, 1970, no. 22, pp. 83–90.

11. Börner A., Worland A. J., Plaschke J., Schumann E., Law C. N. Pleiotropic effects of genes for reduced height (*Rht*) and day-lenght insensitivity (*Ppd*) on yield and its components for wheat grown in Middle Europe. *Plant Breeding*, 1993, vol. 111, no. 3, pp. 204–216. https://doi.org/10.1111/j.1439-0523.1993.tb00631.x

12. Sastry E. D. V. Inheritance of dwarfism in wheat. *Rachis*, 1989, vol. 8, no. 1, pp. 12–13.

13. Rebetzke G. J., Ellis M. H., Bonnett D. G., Mickelson B., Condon A. G., Richards R. A. Height reduction and agronomic performance for selected gibberellin-responsive dwarfing genes in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Field Crops Research*, 2012, vol. 126, pp. 87–96. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.09.022

14. Daoura B. G., Chen L., Hu Y. G. Agronomic traits affected by dwarfing gene 'Rht-5' in common wheat ('Triticum aestivum' L.). *Australian Journal of Crop Science*, 2013, vol. 7, no. 9, 1270–1276. https://search.informit.org/doi/epdf/10.3316/informit.620070573545255

15. Daoura B. G., Chen L., Du Y., Hu Y. G. Genetic effects of dwarfing gene *Rht-5* on agronomic traits in common wheat (*Triticum aestivum* L.) and QTL analysis on its linked traits. *Field Crops Research*, 2014, vol. 156, pp. 22–29. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2013.10.007

16. Gale M. D., Gregory R. S. A rapid method for early generation selection of dwarf genotypes in wheat. *Euphytica*, 1977, vol. 26, no. 3, pp. 733–738. https://doi.org/10.1007/BF00021699

17. Rebetzke G. J., Richards R. A., Fischer V. M., Mickelson B. J. Breeding long coleoptile, reduced height wheats. *Euphytica*, 1999, vol. 106, no. 2, pp. 159–168. https://doi.org/10.1023/A:1003518920119

18. Rebetzke G. J., Richards R. A., Sirault X. R. R., Morrison A. D. Genetic analysis of coleoptile length and diameter in wheat. *Australian Journal of Agricultural Research*, 2004, vol. 55, no. 7, pp. 733–743. https://doi.org/10.1071/AR04037

19. Ellis M. H., Rebetzke G. J., Chandler P., Bonnett D., Spielmeyer W., Richards R. A. The effect of different height reducing genes on the early growth of wheat. *Functional Plant Biology*, 2004, vol. 31, no. 6, pp. 583–589. https://doi.org/10.1071/FP03207

20. Leighty C. E., Taylor J. W. Studies in natural hybridization of wheat. *Journal of Agricultural Research,* 1927, vol. 35, no. 10, pp. 865–887.

21. Bachir G. D., Hu Y. Inheritance of *Rht5* dwarfing gene in common wheat (*Triticum aestivum* L.). *International Journal of Innovation and Scientific Research*, 2014, vol. 1, no. 2, pp. 75–82.

22. Bulguroglu C., Tonk F. A., Istipliler D., Tosun M. Dwarfing gene *Rht4* and its effects on key agronomic and coleoptile traits in bread wheat. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2023, vol. 29, no. 2, pp. 332–337.

23. Lanning S. P., Bowman H. F., Habernicht D., Carlson G. R., Eckhoff J. L., Kushnak G. D., Talbert L. E. Registration of 'Scholar' wheat. *Crop Science*, 2000, vol. 40, no. 3, pp. 861–862. https://doi.org/10.2135/cropsci2000.403849x

24. Jamali K. D., Arain S. Coleoptile length studies in semi-dwarf wheat (*Triticum aestivum* L.) with different dwarfing genes. *Proceedings of the 11th International wheat genetics symposium, 24–29 August 2008, Brisbane, Australia.* Sydney, 2008, pp. 221–223.

25. Doyle J. J., Doyle J. L. A rapid DNA isolation procedure for small quantities of fresh leaf tissue. *Phytochemical Bulletin*, 1987, vol. 19, pp. 11–15.

26. Ellis M. H., Rebetzke G. J., Azanza F., Richards R. A., Spielmeyer W. Molecular mapping of gibberellin-responsive dwarfing genes in bread wheat. *Theoretical and Applied Genetics*, 2005, vol. 111, no. 3, pp. 423–430. https://doi.org/10.1007/s00122-005-2008-6

27. Tonk F. A., İştipliler D., Tosun M., Turanli F., İlbi H., Çakir M. Genetic mapping and inheritance of Russian wheat aphid resistance gene in accession IG 100695. *Plant Breeding*, 2016, vol. 135, no. 1, pp. 21–25. https://doi.org/10.1111/pbr.12339

28. Steel R. G. D., Torrie J. H. *Principles and procedures of statistics. A biometrical approac*h. 2nd ed. New York, McGraw-Hill, 1980. 633 p.

29. Zuki Z. M., Rafii M. Y., Ramli A., Oladosu Y., Latif M. A., Sijam K., Sarif H. M. Segregation analysis for bacterial leaf blight disease resistance genes in rice 'MR219' using SSR marker. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 2020, vol. 80, no. 2, pp. 227–233. http://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392020000200227

30. Cui C., Lu Q., Zhao Z., Lu S., Duan S., Yang Y., Qiao Y., Chen L., Hu Y. G. The fine mapping of dwarf gene *Rht5* in bread wheat and its effects on plant height and main agronomic traits. *Planta*, 2022, vol. 255, no. 6, pp. 114. https://doi.org/10.1007/s00425-022-03888-1

31. Allan R. E., Vogel O. A., Peterson C. J. Seedling emergence rate of fall-sown wheat and its association with plant height and coleoptile length. *Agronomy Journal*, 1962, vol. 54, no. 4, pp. 347–350. https://doi.org/10.2134/agronj1962.00021962005400040022x

32. Whan B. R. The association between coleoptile length and culm length in semi-dwarf and standard wheat. *Journal of Australian Institute Agricultural Science*, 1976, vol. 42, pp. 194–196.

33. Rebetzke G. J., Appels R., Morrison A. D., Richards R. A., McDonald G., Ellis M. H., Spielmeyer W., Bonnett D. G. Quantitative trait loci on chromosome 4B for coleoptile length and early vigour in wheat (*Triticum aestivum* L.). *Australian Journal of Agricultural Research,* 2001, vol. 52, no. 12, pp. 1221–1234. https://doi.org/10.1071/AR01042

34. Peng J., Richards D. E., Hartley N. M., Murphy G. P., Devos K. M., Flintham J. E. [et al.]. 'Green revolution' genes encode mutant giberellin response modulators. *Nature*, 1999, vol. 400, pp. 256–261. https://doi.org/10.1038/22307

## Information about the authors

*Gonca Uğurbaşçiçek* – M. Sc. Agricultural Engineering, Department of Field Crops, Faculty of Agriculture, Ege University (35100, İzmir, Türkiye). https://orcid.org/0009-0005-2894-8957. E-mail: goncagul0135@gmail.com

*Fatma Aykut Tonk* – Ph. D. (Agriculture), Professor of the Department of Field Crops, Faculty of Agriculture, Ege University (35100, İzmir, Türkiye). https://orcid.org/0000-0003-4557-5919. E-mail: fatma.aykut@ege.edu.tr

## Информация об авторах

*Угурбашчичек Гонджа* – магистр сельскохозяйственной инженерии, кафедра полевых культур, сельскохозяйственный факультет, Эгейский университет (35100, Измир, Турция). https://orcid.org/0009-0005-2894-8957. E-mail: goncagul0135@gmail.com

*Айкут Тонк Фатма* – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры полевых культур, сельскохозяйственный факультет, Эгейский университет (35100, Измир, Турция). https://orcid.org/0000-0003-4557-5919. E-mail: fatma.aykut@ege.edu.tr

ISSN 1817-7204 (Print)
ISSN 1817-7239 (Online)

## *ЖЫВЁЛАГАДОЎЛЯ І ВЕТЭРЫНАРНАЯ МЕДЫЦЫНА*

## *ANIMAL HUSBANDRY AND VETERINARY MEDICINE*

УДК 631.223.2:628.8
https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-4-307-318

Поступила в редакцию 18.05.2026
Received 18.05.2026

**С. В. Вторый, В. В. Гордеев, С. В. Ковалёв, А. Д. Комоедов**

*Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Санкт-Петербург, пос. Тярлево, Российская Федерация*

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫБРОСОВ КЛИМАТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ГАЗОВ ИЗ ПОМЕЩЕНИЙ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ МОЛОДНЯКА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

**Аннотация.** Один из самых ответственных и сложных процессов в технологии содержания молочных коров – это воспроизводство стада, подразумевающее выращивание здорового молодняка крупного рогатого скота (КРС), который, в свою очередь, является источником климатически активных газов (КАГ). Представленные в отечественной и зарубежной научной литературе модели направлены на оценку выделения различных газов преимущественно от взрослого поголовья. Поэтому разработка модели расчета выбросов КАГ при выращивании молодняка крупного рогатого скота в условиях неопределенности, возникающей при формировании воздушной среды в животноводческом помещении, является актуальной. По результатам проведенных теоретических исследований предложена структурная схема оценки уровня выбросов климатически активных газов из помещений для содержания молодняка, ключевым элементом которой выступает математическая модель расчета этих эмиссий. В ее основу положены разработанные зависимости для расчета объемов выбросов $CO_2$, $CH_4$, $NH_3$ и $H_2S$ с учетом результатов мониторинга и технологических параметров. Экспериментальная информация формировалась на основе данных о параметрах воздушной среды помещения для выращивания молодняка КРС и внешней среды с применением специально спроектированной мобильной платформы многоуровневого контроля концентрации климатически активных газов. Были изучены параметры воздушной среды в помещении для содержания 518 гол. молодняка КРС в возрасте от 3,2 до 9,4 мес. Полученные данные позволили провести моделирование и расчет объемов выбросов климатически активных газов в зависимости от возраста животных. Выбросы в целом по исследуемому помещению составили: $CO_2$ – 781,0 кг/сут; $CH_4$ – 24,9 кг/сут; $NH_3$ – 1,1 кг/сут; $H_2S$ – 0,003 кг/сут. Полученные результаты будут использованы при разработке рекомендаций к технико-технологическим решениям по снижению эмиссии в окружающую среду климатически активных газов из животноводческих помещений для содержания молодняка КРС.

**Ключевые слова:** молодняк КРС, микроклимат, техническое средство, мобильная платформа, мониторинг, климатически активный газ, индикаторный газ, моделирование, модель

**Для цитирования:** Моделирование выбросов климатически активных газов из помещений для выращивания молодняка крупного рогатого скота / С. В. Вторый, В. В. Гордеев, С. В. Ковалёв, А. Д. Комоедов // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2026. – Т. 64, № 4. – С. 307–318. https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-4-307-318

**Sergei V. Vtoryi, Vladislav V. Gordeev, Sergei V. Kovalev, Alexey D. Komoedov**

*Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Agroengineering Center VIM", Saint Petersburg, Tiarlevo Settl., Russian Federation*

# MODELING OF CLIMATE-ACTIVE GAS EMISSIONS FROM FACILITIES FOR YOUNG CATTLE REARING

**Abstract.** One of the most significant and complex processes in dairy farming is herd reproduction. This process involves rearing healthy calves and heifers, which, in turn, are a source of climate-active gases. The models from existing national and foreign scientific literature aim at assessing the release of various gases mainly from adult livestock. Therefore, it is important

to create a model for calculating emissions of climate-active gases in young cattle rearing under variable indoor air environment conditions. This theoretical research resulted in a structural scheme for estimating emission levels from young animal housing that is centered on a predictive mathematical model. The model incorporated previously developed relationships for calculating $CO_2$, $CH_4$, $NH_3$ and $H_2S$ emissions and integrated real-time data and operational parameters. A custom-designed mobile platform for multi-level concentration monitoring of climate-active gases recorded the indoor and outdoor air parameters of a young cattle rearing facility. The facility housed 518 young animals aged from 3.2 to 9.4 months. The data obtained were used to model and calculate the quantity of climate-active gas emissions depending on the age of the animals. Overall, the emissions in the studied facility were 781.0 kg/day for $CO_2$; 24.9 kg/day for $CH_4$; 1.1 kg/day for $NH_3$; and 0.003 kg/day for $H_2S$. These findings will be included in recommendations for engineering and technological solutions to mitigate gas emissions from young cattle housing systems.

**Keywords:** young cattle, indoor air quality, monitoring equipment, mobile platform, monitoring, climate-active gases, tracer gas, modeling, model

**For citation:** Vtoryi S. V., Gordeev V. V., Kovalev S. V., Komoedov A. D. Modeling of climate-active gas emissions from facilities for young cattle rearing. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2026, vol. 64, no. 4, pp. 307–318 (in Russian). https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-4-307-318

**Введение.** В настоящее время в связи с активным ростом населения планеты и при существенном улучшении качества жизни растет и спрос на продукцию животноводства, в особенности на молочные продукты. Для удовлетворения этого спроса на должном уровне требуется увеличение их производства за счет внедрения передовых интенсивных технологий, которые могут повлечь за собой значительное увеличение выбросов климатически активных газов (КАГ) – метана ($CH_4$), углекислого газа ($CO_2$), аммиака ($NH_3$) и сероводорода ($H_2S$), оказывающих негативную экологическую нагрузку на окружающую среду [1, 2].

Сокращение количества выбросов КАГ является проблемой мирового масштаба, над которой работают многочисленные группы исследователей. Задачи, которые ставят перед собой большинство из них, – это определение факторов, влияющих на уровень концентрации газов в помещении, и создание прогнозных и оценочных моделей выбросов, необходимых для разработки методов и стратегий повышения производства продукции КРС при значительном снижении экологической нагрузки [3–5].

Необходимость разработки эффективных методов и стратегий, направленных на снижение выбросов КАГ, с каждым годом приобретает все большую актуальность и в России. За последние годы на государственном уровне принят ряд законодательных и нормативных документов, регламентирующих и ограничивающих выбросы этих газов для различных секторов экономики. При этом расчет выбросов климатически активных газов от КРС, в частности парниковых, осуществляется в соответствии с рекомендациями Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК)[1]. Однако эти рекомендации не обеспечивают в полной мере возможность определения коэффициентов выбросов с учетом региональных особенностей [6].

В настоящее время при разработке новых моделей расчета и прогнозирования выбросов газов от животных ученые во всем мире включают в них индивидуальные параметры, что позволяет уточнять региональные значения, указанные в рекомендациях МГЭИК [7].

Так, в [8] предложен ряд моделей для прогнозирования коэффициентов суточного выброса метана и суммарных выбросов метана для молодняка голштинской породы разного возраста с использованием в качестве параметров массы животного и потребления сухого вещества корма (типичный рацион для коммерческих ферм Великобритании). Отмечается тесная зависимость между коэффициентами выбросов метана и массой животного. Средние значения суммарных выбросов метана составили: от рождения до 12 мес. – 36,2 кг; в возрасте от 13 до 24 мес. – 64,3 кг.

Целью работы японских ученых [9] была разработка моделей для прогнозирования выбросов метана, учитывающих физиологические признаки мясного скота, такие как потребление сухого вещества корма, количество усваиваемых питательных веществ и объем кормов. Отмечено, что добавление этих параметров немного увеличило значения коэффициентов выбросов $CH_4$, а полученные модели прогнозирования, использующие физиологические переменные, наиболее ак-

[1] Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006 / Межправительств. группа экспертов по изменению климата; ред.: С. Игглестон [и др.]; пер. с англ. Хаяма: IGES, 2006. Т. 4: Сельское хозяйство, лесное хозяйство и другие виды землепользования. URL: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/vol4.html (дата обращения: 04.05.2026).

туальны для расчета коэффициентов выбросов метана при кормлении КРС высококонцентрированными рационами, где содержание концентратов превышает 70 %.

Ученые из США [10] ставили перед собой задачи разработать базу данных животных, в рационе которых применяются пищевые добавки, и эмпирическую модель прогнозирования выбросов метана у молочного скота. В качестве основных параметров в модель были включены потребление сухого вещества корма и состав рациона, которые, как отмечено, обеспечили улучшенное прогнозирование.

Исследование [11], выполненное учеными из Португалии для разработки модели выбросов метана от бычков, включало оценку влияния замены традиционного рациона на рацион, в основу которого входили кукурузный силос и пивная дробина. Замена отразилась на потреблении сухого вещества и среднесуточном приросте массы животных – снижение на 13 и 15 % соответственно, а также на выбросе метана – зафиксирован рост на 59 % в сутки.

Выбросы аммиака и сероводорода также представляют собой значительную проблему, поскольку они наносят вред здоровью людей и животных, а также выступают одним из ключевых факторов образования мелкодисперсных частиц и загрязнения ими воздушной и водной сред [12]. Для контроля и снижения выброса аммиака в Латвии разработана имитационная модель оценки и прогнозирования его выбросов в цепочке управления навозом у молочного скота, которая рассчитывает (на основе имеющихся коэффициентов) и оценивает объемы газа на каждом этапе работы с навозом, начиная с технологии содержания животных [13]. Модель позиционируется как инструмент для сравнения влияния различных вариантов снижения выбросов аммиака и возможности их внедрения на национальном уровне. Подобное моделирование с разработкой методологии оценки выбросов аммиака из навоза КРС проведено и в Корее [14]. На основе полученных результатов разрабатываются кадастры, учитывающие годовые и региональные колебания выбросов аммиака.

Контроль параметров микроклимата в помещении является важной составляющей в управлении выбросами газов, так как этот процесс тесно связан с другими технологическими операциями. Ученые из Литвы, используя метод массового расхода воздуха, проводили исследование в аэродинамической трубе над навозом КРС с различным содержанием влаги [15]. В результате было установлено, что выделение аммиака из жидкого навоза составило (404 ± 13) мг/(м$^2$·ч), из полужидкого – (223 ± 11) мг/(м$^2$·ч), из твердого – (103 ± 7) мг/(м$^2$·ч), что связано с интенсивностью испарения влаги из навоза. По итогам выполненной работы получена зависимость выбросов аммиака от содержания сухого вещества в навозе.

В США была разработана модель для прогнозирования влияния препарата Lubabegron на снижение выбросов аммиака у крупного рогатого скота [16]. Выбросы определялись на основе измерения концентрации аммиака и скорости воздушного потока в непосредственной зоне нахождения животных. Согласно расчетам ожидаемый эффект от использования препарата в дозировке 5,5 мг в расчете на 1 кг сухого вещества корма составляет около 12 % снижения эмиссии аммиака.

Для расчета коэффициентов эмиссии и прогнозирования распространения климатически активных газов в животноводческом помещении может применяться трехмерное цифровое моделирование. Так, в работе [17] представлены параметрические модели формирования и перемещения газов с учетом меняющихся условий. Отмечается, что такой способ моделирования позволяет определить оптимальные точки мониторинга концентраций КАГ и направление воздушного потока сформировавшегося облака газа.

В рассмотренных работах были охарактеризованы технологии содержания и обслуживания КРС, оценены выбросы отдельно по каждому газу и общие выбросы в $CO_2$-экв. от крупного рогатого скота, предложены стратегии снижения ущерба окружающей среде. При этом опубликованное их разнообразие, полученное при различных условиях и при отсутствии стандартизированных методов измерения выбросов КАГ способствует неточности при сравнительном анализе отмеченных результатов [3, 18], а также снижает их применимость для оценки и прогнозирования в конкретных региональных и климатических условиях Российской Федерации. Также необходимо отметить, что большинство разработанных моделей, представленных в литературе, направлено на изучение связей выделения различных газов от взрослого скота, хранения и переработки навоза и не могут быть использованы при оценке выбросов из помещения для содержания

молодняка КРС, которые, в свою очередь, также являются источником климатически активных газов. Модели, позволяющие рассчитать выбросы КАГ из помещений для молодняка КРС, практически отсутствуют.

*Цель исследования* – разработать модель расчета выбросов КАГ при выращивании молодняка КРС в условиях неопределенности формирования воздушной среды в животноводческом помещении. В задачи входят разработка модели расчета выбросов КАГ при выращивании молодняка КРС, позволяющей проводить анализ негативного воздействия на окружающую среду в зависимости от применяемых технологий и выполнения технологических операций, с дальнейшей ее апробацией в производственных условиях.

**Материалы и методы.** Движение потоков воздуха в помещениях с естественной вентиляцией для содержания животных характеризуется как турбулентное, и для непосредственного измерения таких потоков нет современных технических средств. В этом случае на практике расчеты интенсивности воздухообмена выполняются с использованием метода индикаторного газа, в качестве которого используется $CO_2$ [19–21].

Методика исследований состоит из двух этапов: первый – экспериментальные исследования по измерению концентраций КАГ в поступающем и удаляемом воздухе; второй – определение интенсивности воздухообмена в помещении [22]. Методической основой являются ГОСТ Р 54857-2011[1] и положения, изложенные в патенте № 2477886[2], которые устанавливают методы определения объемного расхода воздуха, кратности воздухообмена и использования $CO_2$ в качестве индикаторного газа.

Экспериментальная информация формировалась на основе данных мониторинга параметров воздушной среды помещения для выращивания молодняка КРС и внешней среды. Для этих целей было изготовлено новое техническое средство – мобильная платформа многоуровневого мониторинга концентрации климатически активных газов в животноводческих помещениях [1], которое условно можно разделить на три составляющие (рис. 1):

1. Мобильная платформа – колесная тележка (1) и установленный на ней блок регистрации (2), основными элементами которого являются два электронных регистратора и две аккумуляторные батареи с суммарным выходным напряжением 24 В.




Рис. 1. Общий вид мобильной платформы многоуровневого мониторинга концентрации климатически активных газов в животноводческом помещении: *1* – колесная тележка; *2* – блок регистрации; *3* – стойка; *4* – стрела; *5* – устройство регулировки наклона стрелы; *6* – блок датчиков; *7* – вертикальная кулиса

Fig. 1. General view of the mobile platform for multi-level monitoring of climate-active gas concentration in livestock premises: *1* – trolley; *2* – recording unit; *3* – stand; *4* – boom; *5* – boom tilt adjustment device; *6* – sensor unit; *7* – vertical boom link

[1] Здания и сооружения. Определение кратности воздухообмена методом индикаторного газа: ГОСТ Р 54857-2011. М.: Стандартинформ, 2019. 19 с.

[2] Патент RU 2477886, МПК G06F 17/40 (2006.01). Способ определения и мониторинга величины массовых выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду из животноводческого помещения и система для его осуществления: № 2011134177/08: заявлено 12.08.2011: опубл. 20.03.2013 / Брюханов А. Ю., Козлова Н. П., Максимов Н. В.; патентообладатель Сев.-Зап. НИИ механизации и электрификации сел. хоз-ва РАСХН. 11 с.

2. Силовая конструкция – стойка (3), стрела (4) и устройство регулировки наклона стрелы (5), которые обеспечивают функцию выбора высоты измерений в диапазоне от 0,3 м до 2,0 м.

3. Измерительный блок – блок датчиков ($CO_2$, $CH_4$, $NH_3$, $H_2S$, температуры и относительной влажности) (6), закрепленный на вертикальной кулисе (7). Опрос датчиков настроен на режим цикла 5 с; время непрерывных измерений для каждой точки составляет не менее 10 мин.

Габаритные размеры технического средства в рабочем состоянии (длина – от 4 450 до 7 420 мм, ширина – 1 060 мм, высота – от 1 550 до 3 100 мм) позволяют удобно его размещать в кормовом проезде и проводить измерения в секциях с животными.

Обработка экспериментальных данных выполнялась методом описательной статистики с использованием программного пакета Microsoft Excel.

**Результаты и их обсуждение.** Нами разработана структурная схема оценки уровня выбросов КАГ (рис. 2), в которой модель расчета выбросов (4) этих газов из помещений для выращивания молодняка КРС является основой.

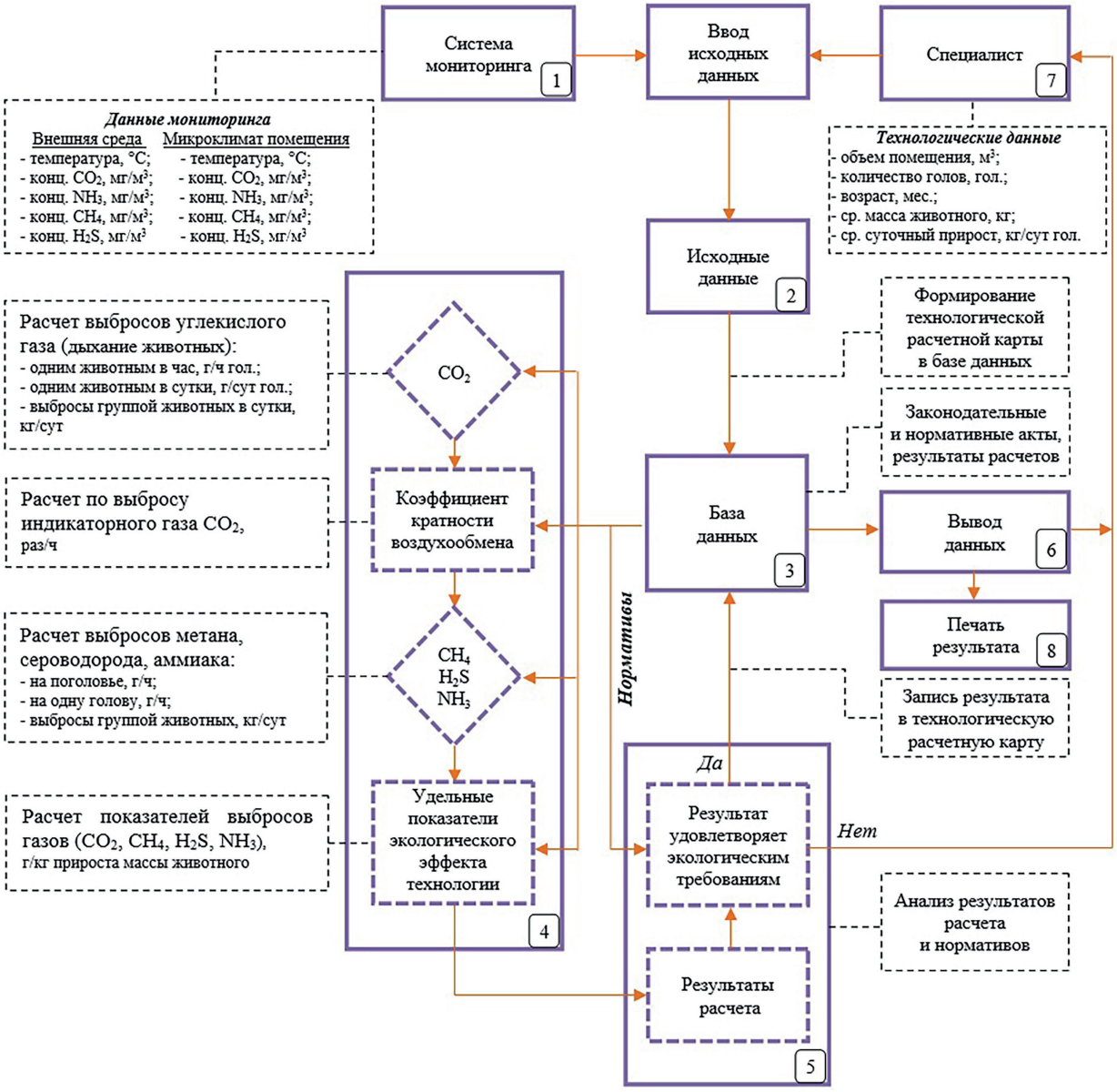



Рис. 2. Структурная схема оценки уровня выбросов КАГ

Fig. 2. Block diagram for estimating the level of climate-active gas emissions

Для полноценного функционирования модели расчета выбросов КАГ (4) важное значение имеет база данных (3), которая состоит из четырех информационно увязанных массивов данных в табличной форме. Первый массив данных содержит технологическую информацию, вводимую специалистом (7): площадь и объем помещения, количество голов, средняя масса одного животного, системы удаления навоза и кормления, рацион и питательные характеристики, система вентиляции и ее производительность.

Второй массив формируется от системы мониторинга (1) в режиме реального времени и содержит текущие параметры микроклимата помещения и внешней среды: температуру, скорость движения воздуха и концентрацию газов.

Третий массив данных формируется по результатам моделирования (4) и содержит расчетные значения воздухообмена, переваримости кормов, выхода навоза, а также выбросов $CO_2$, $NH_3$, $H_2S$, $CH_4$ в окружающую среду.

Четвертый массив данных состоит из нормативно-справочной информации, которую регулярно обновляет специалист (7). В базе данных информация структурируется и систематизируется с привязкой к району, хозяйству и конкретному животноводческому помещению для содержания молодняка КРС. Основу базы данных составляют объекты данных, имеющие в своей структуре форму ввода и таблицу, в которой объединяется группа показателей.

Эти показатели с технологической точки зрения позволят произвести расчет (4) на основе моделей выбросов климатически активных газов на уровне отдельного помещения, оценить их уровень (5) и сформировать массив данных в табличной форме (6). Специалист (7) путем запросов может получать необходимую информацию в виде таблиц и графиков с выводом на печать интересующих результатов (8).

Для определения выбросов углекислого газа в процессе дыхания животного на основании данных, указанных в РД-АПК 1.10.01.01-18[1], получена математическая зависимость, учитывающая его массу и температурные коэффициенты $CO_2$:

$$q_{CO_2} = (0{,}172 \times M + 10{,}79) \times t_{\text{п}} \times t_{\text{т}}, \tag{1}$$

где $q_{CO_2}$ – масса выбросов $CO_2$, г/(гол·ч); $M$ – масса животного, кг.

Рассчитывается $t_{\text{п}}$ – коэффициент, учитывающий изменение плотности $CO_2$ в зависимости от температуры воздуха в помещении ($T_{\text{в}}$, °C), по формуле

$$t_{\text{п}} = -0{,}0065 \times T_{\text{в}} + 1{,}9608. \tag{2}$$

Коэффициент, учитывающий интенсивность выделения $CO_2$ животными в зависимости от температуры воздуха в помещении ($t_{\text{т}}$), определяется следующим образом:

$$t_{\text{т}} = 0{,}025 \times T_{\text{в}} + 0{,}747. \tag{3}$$

Вычисление часовых выбросов $CO_2$ группой животных ($q^{\text{гр}}_{CO_2}$, г/(гр.·ч)) выполняется по выражению

$$q^{\text{гр}}_{CO_2} = q_{CO_2} \times n, \tag{4}$$

где $n$ – поголовье животных в группе, гол.

Суточные выбросы $CO_2$ группой животных ($q^{\text{сут}}_{CO_2}$, кг/(гр.·сут)) вычисляются по формуле

$$q^{\text{сут}}_{CO_2} = \frac{q^{\text{гр}}_{CO_2} \times 24}{1000}. \tag{5}$$

Определение воздухообмена может проводиться как по отдельной группе животных, так и в целом по помещению. Расчет воздухообмена по отдельной группе животных осложняется тем, что секции, где содержатся животные разных возрастов, не изолированы друг от друга, и это создает неконтролируемый воздухообмен между ними, который невозможно оценить. Предлагается замеры концентрации газов проводить внутри секции, а объем воздуха рассчитывать пропорционально площади пола секции, занимаемой животными. В целом для помещения расчеты предла-

[1] Методические рекомендации по технологическому проектированию ферм и комплексов крупного рогатого скота: РД-АПК 1.10.01.01-18: [взамен РД-АПК 1.10.01.02-10; введ. 01.09.2018]. М.: [б. и.], 2018. 166 с.

гается проводить на основе усредненных показателей. Интенсивность воздухообмена определяется коэффициентом кратности воздухообмена и рассчитывается по следующей формуле:

$$k_{\text{во}} = \frac{(q^{\text{гр}}_{\text{CO}_2} / V)}{(\rho^{\text{в}}_{\text{CO}_2} - \rho^{\text{н}}_{\text{CO}_2})}, \quad (6)$$

где $k_{\text{во}}$ – коэффициент кратности воздухообмена, раз/ч; $V$ – внутренний объем помещения, м$^3$; $\rho^{\text{в}}_{\text{CO}_2}$ – концентрация $CO_2$ в воздухе помещения, г/м$^3$; $\rho^{\text{н}}_{\text{CO}_2}$ – концентрация $CO_2$ в наружном воздухе, г/м$^3$.

Имея данные о концентрации в воздухе $NH_3$, $CH_4$, $H_2S$, можно произвести расчет массы выбросов заданной группой животных за час $q^{\text{гр}}_i$ (мг/(гр.·ч)):

$$q^{\text{гр}}_i = (\rho^{\text{в}}_i - \rho^{\text{н}}_i) \times V \times k_{\text{во}}, \quad (7)$$

где $\rho^{\text{в}}_i$ – концентрация $i$-го газа в воздухе помещения, мг/м$^3$; $\rho^{\text{н}}_i$ – концентрация $i$-го газа в наружном воздухе, мг/м$^3$.

Вычисление выбросов $i$-го газа одним животным за час $q_i$ (мг/(гол.·ч)) производится по формуле

$$q_i = \frac{q^{\text{гр}}_i}{n}. \quad (8)$$

Суточные выбросы $i$-го газа группой животных за сутки $q^{\text{сут}}_i$ (г/(гр.·сут)) определяются согласно выражению

$$q^{\text{сут}}_i = \frac{q^{\text{гр}}_i \times 24}{1000}. \quad (9)$$

Одним из основных критериев экологической эффективности технологии с минимизацией ущерба окружающей среде можно принять массу выбросов каждого газа по отношению к произведенной продукции. Расчет удельных показателей экологической эффективности $q^{\text{уд}}_i$ (г/кг прироста) технологии производится по формуле

$$q^{\text{уд}}_i = \frac{(q_i \times 24 / p)}{1000}, \quad (10)$$

где $p$ – суточный прирост живой массы, кг.

Отрицательное воздействие парниковых газов ($CO_2$ и $CH_4$) на окружающую среду оценивается через потенциал глобального потепления (ПГП, для $CO_2$ = 1 и $CH_4$ = 23)[1] с расчетом $CO_2$-экв. (г $CO_2$-экв/сут) и $CO^{\text{уд}}_2$-экв. (г $CO_2$-экв/сут/кг прироста) по следующим выражениям:

$$\text{CO}_2\text{-экв.} = \frac{24 \times (q_{\text{CO}_2} + 23 \times q_{CH_4})}{1000}, \quad (11)$$

$$\text{CO}^{\text{уд}}_2\text{-экв.} = \frac{\text{CO}_2\text{-экв.}}{p}. \quad (12)$$

Внедрение предлагаемой модели в первую очередь актуально в регионах, где потенциал сокращения выбросов КАГ является наибольшим. Таким регионом является Ленинградская область, в которой производство молока имеет наивысший показатель в РФ, достигающий 15 тыс. кг молока на голову в год. Молодняк, получаемый от высокопродуктивных коров, обладает значительным генетическим потенциалом и характеризуется большими суточными приростами живой массы, что, несомненно, сказывается на выбросах КАГ при его выращивании.

Апробация модели расчета выбросов КАГ (см. рис. 2, блок 4) проводилась в помещении для молодняка, расположенном в одном из племенных молочных хозяйств Ленинградской области, общим объемом 14 400 м$^3$, длиной 90 м, шириной 25 м, высотой в коньке 8,8 м. В нем содержатся 518 гол. молодняка возрастом от 2,5 до 9,7 мес., которые размещены в 15 секциях (по 34–35 гол.).

[1] Газы парниковые. Ч. 1. Требования и руководство по количественному определению и отчетности о выбросах и поглощении парниковых газов на уровне организации: ГОСТ Р ИСО 14064-1-2021. М.: Рос. ин-т стандартизации. 2021. 43 с.

В этом помещении был проведен мониторинг концентраций КАГ в пяти точках на четырех уровнях (0,3; 0,7; 1,5 и 2,0 м) и во внешней среде. В каждой точке измерения выполнялись в течение 10 мин, а информация записывалась на электронный носитель с интервалом опроса датчиков 5 с. Средние значения температуры на момент проведения исследований составили: в помещении +0,3 °С, на улице –8,1 °С.

При мониторинге параметров микроклимата в помещении для содержания молодняка КРС разных возрастных групп животных было установлено, что концентрации $CO_2$ составляют (3 100 ± 330) мг/м$^3$, $CH_4$ – (88,5 ± 1,25) мг/м$^3$, $NH_3$ – (3,58 ± 0,83) мг/м$^3$, $H_2S$ – (0,037 ± 0,013) мг/м$^3$. При этом наблюдались изменения кратности воздухообмена $k_{во}$ = (0,86 ± 0,17), связанные с неравномерностью движения воздушных потоков внутри помещения.

Полученный массив данных параметров микроклимата позволил провести расчет массы выбросов КАГ по модели (см. рис. 2, блок 4) в зависимости от возраста молодняка КРС. Результаты расчета представлены на рис. 3.

Анализ рис. 3 показывает, что с увеличением возраста животных от 3,2 до 9,4 мес. выбросы $CO_2$ выросли в 1,86 раза, $NH_3$ – в 2,07 раза и $CH_4$ – в 1,64 раза. Выбросы сероводорода, не указанные на данной диаграмме, составили 0,057–0,65 мг/(гол·ч).

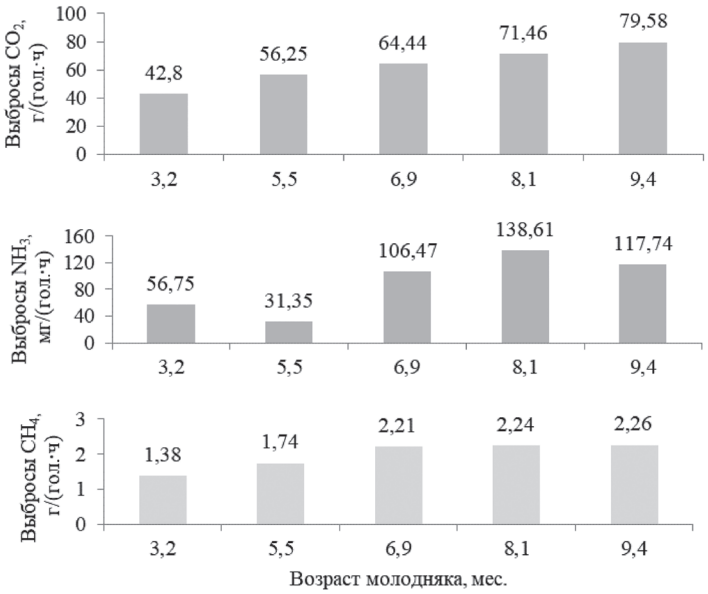



Рис. 3. Масса выбросов КАГ в зависимости от возраста молодняка КРС

Fig. 3. Mass of climate-active gas emissions depending on the young cattle age




Рис. 4. Зависимость удельных выбросов $CO_2$ от суточного прироста живой массы молодняка КРС, г/кг прироста/сут

Fig. 4. Dependence of specific $CO_2$ emissions on the daily live weight gain in young cattle, g/kg of gain/day

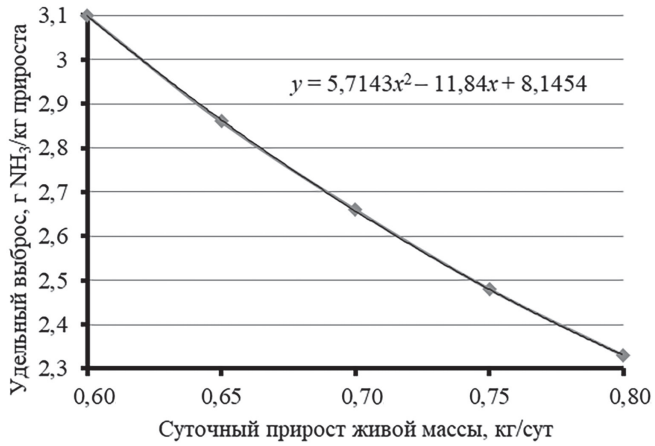



Рис. 5. Зависимость удельных выбросов $NH_3$ от суточного прироста живой массы молодняка КРС, г/кг прироста/сут

Fig. 5. Dependence of specific $NH_3$ emissions on the daily live weight gain in young cattle, g/kg of gain/day

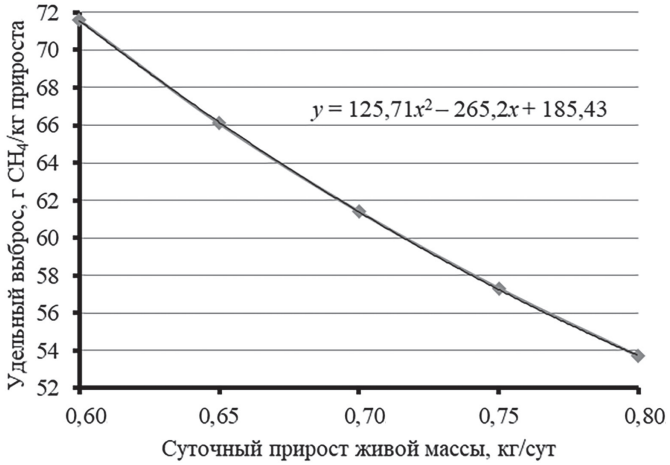



Рис. 6. Зависимость удельных выбросов $CH_4$ от суточного прироста живой массы молодняка КРС, г/кг прироста/сут

Fig. 6. Dependence of specific $CH_4$ emissions on the daily live weight gain in young cattle, g/kg of gain/day

В качестве показателя экологической эффективности технологии выращивания молодняка можно принять количество выбросов КАГ, приходящихся на единицу продукции, т. е. на 1 кг прироста живой массы. Чем ниже этот показатель, тем меньше вред, наносимый окружающей среде при обеспечении заданных технологических параметров. На рис. 4–6 представлены расчетные зависимости удельных выбросов $CO_2$, $NH_3$ и $CH_4$ на кг прироста живой массы молодняка.

Из графиков видно, что с увеличением прироста живой массы молодняка, связанного с интенсивностью используемой технологии, удельные выбросы КАГ на кг прироста снижаются. Это свидетельствует о необходимости применения наиболее эффективных интенсивных технологий, позволяющих при выращивании молодняка минимизировать экологический ущерб окружающей среде при производстве единицы продукции.

**Выводы.** Анализ научной литературы показал, что модели, методы и стратегии, связанные с выбросами КАГ при содержании КРС, активно разрабатываются во многих странах. Исследователи отмечают их значительный потенциал для прогнозирования и снижения вредного воздействия на окружающую среду. Наибольшее распространение в работах за последние 5 лет получили модели, направленные на расчет и прогнозирование уровней выбросов метана от взрослого скота и аммиака от навоза.

По результатам проведенных теоретических исследований была разработана структурная схема оценки уровня выбросов КАГ, в которой главным элементом является модель расчета

выбросов этих газов из помещений при выращивании молодняка КРС. На основе разработанных математических зависимостей производится расчет выбросов $CO_2$, $CH_4$, $NH_3$ и $H_2S$ с учетом данных мониторинга и технологических параметров.

С использованием разработанной мобильной платформы многоуровневого мониторинга концентрации климатически активных газов были проведены исследования параметров воздушной среды в помещении для содержания молодняка КРС. Исследования проводились при температуре воздуха в помещении 0,3 °С, при этом расчетные выбросы $CO_2$ в среднем составили 62,8 г/(гол.·ч). С применением разработанной модели произведены следующие расчеты: при росте температуры воздуха до +10 °С выбросы $CO_2$ увеличатся на 29 %, при температуре +20 °С рост составит 55,9 %, что связано с возрастанием интенсивности дыхания животных, изменением плотности углекислого газа и учитывается соответствующими коэффициентами.

Аналогичные зависимости существуют и для других КАГ, но этот вопрос требует дополнительных исследований.

Моделирование показало, что расчетные выбросы в целом для исследуемого помещения составили: $CO_2$ – 781,0 кг/сут; $CH_4$ – 24,9 кг/сут; $NH_3$ – 1,1 кг/сут; $H_2S$ – 0,003 кг/сут.

Разработанная модель позволяет производить расчеты для различных объемно-планировочных решений помещений и широких диапазонов температурно-влажностных режимов в них с учетом разнообразия формируемых групп по возрасту и живой массе молодняка КРС.

Полученные результаты будут использованы при разработке рекомендаций к технико-технологическим решениям по снижению эмиссии климатически активных газов в окружающую среду из животноводческих помещений для содержания молодняка КРС.

**Благодарности.** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-26-00112 «Модели оценки и прогноза влияния технологий выращивания молодняка крупного рогатого скота на интенсивность эмиссии климатически активных газов в окружающую среду».

**Acknowledgements.** The study was funded by the Russian Science Foundation grant no. 25-26-00112 “Models for assessing and predicting the impact of technologies for rearing young cattle on the intensity of emissions of climate-active gases into the environment”.

## Список использованных источников

1. Вторый, С. В. Анализ технологий выращивания молодняка КРС для разработки средства мониторинга концентрации газов в животноводческих помещениях / С. В. Вторый, С. В. Ковалев, А. Д. Комоедов // Аграрный научный журнал. – 2025. – № 12. – С. 153–163. https://doi.org/10.28983/asj.y2025i12pp153-163

2. Greenhouse gas emissions from beef cattle breeding based on the ecological cycle model / H. Guo, Z. Su, X. Yang [et al.] // International Journal of Environmental Research and Public Health. – 2022. – Vol. 19, № 15. – Art. 9481. https://doi.org/10.3390/ijerph19159481

3. Ammonia emissions and building-related mitigation strategies in dairy barns: a review / S. Vitaliano, P. R. D’Urso, C. Arcidiacono, G. Cascone // Agriculture. – 2024. – Vol. 14, № 7. – Art. 1148. https://doi.org/10.3390/agriculture14071148

4. Ramirez-Restrepo, C. A. The carbon footprint of young-beef cattle finishing systems in the Eastern Plains of the Orinoco River Basin of Colombia / C. A. Ramirez-Restrepo, R. Vera, I. M. Rao // Frontiers in Animal Science. – 2023. – Vol. 4. – Art. 1103826. https://doi.org/10.3389/fanim.2023.1103826

5. Ammonia and greenhouse gase missions of different types of livestock and poultry manure during storage / Z. Zhu, L. Li, H. Dong, Y. Wang // American Society of Agricultural and Biological Engineers. – 2020. – Vol. 63, № 6. – P. 1723–1733. https://doi.org/10.13031/trans.14079

6. Исследования выделения парниковых газов при переработке навоза молодняка крупного рогатого скота / А. Ю. Брюханов, Э. В. Васильев, В. И. Базыкин, Е. В. Шалавина // Инженерные технологии и системы. – 2025. – Т. 35, № 3. – С. 465–488. https://doi.org/10.15507/2658-4123.035.202503.465-488

7. Modelling methane emission from manure / S. Calvet, F. Estelles, A. Prado, K. Groenestein // Technology for environmentally friendly livestock production / ed. T. Bartzanas. – Cham, 2023. – P. 137–145. https://doi.org/10.1007/978-3-031-19730-7_6

8. Development of prediction models for quantification of total methane emission from enteric fermentation of young Holstein cattle at various ages / H. Jiao, T. Yan, D. A. Wills [et al.] // Agriculture, Ecosystems & Environment. – 2014. – Vol. 183, № 6. – P. 160–166. http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.11.004

9. Prediction equation development for methane-related traits accounting for physiological traits in Japanese Black cattle / H. Lee, M. Kim, T. Masaki [et al.] // Animal Science Journal. – 2026. – Vol. 97. – Art. e70144. https://doi.org/10.1111/asj.70144

10. Marumo, J. L. Enteric methane emissions prediction in dairy cattle and effects of Monensin on methane emissions: a meta-analysis / J. L. Marumo, P. A. LaPierre, M. E. Van Amburgh // Animals. – 2023. – Vol. 13, № 8. – Art. 1392. https://doi.org/10.3390/ani13081392

11. Effect of a corn silage-based finishing diet on growth, carcass composition, meat quality, methane emissions and carbon footprint of crossbred angus young bulls / D. M. Soares, S. Bernardino, N. Rodrigues [et al.] // Sustainability. – 2025. – Vol. 17, № 18. – Art. 8417. https://doi.org/10.3390/su17188417

12. Ammonia emissions from beef cattle feed yards: a review / M. Lee, B. W. Auvermann, L. O. Tedeschi [et al.] // Frontiers in Animal Science. – 2025. – Vol. 6. – Art. 1608387. https://doi.org/10.3389/fanim.2025.1608387

13. Aboltins, A. Model for ammonia emissions' assessment and comparison of various dairy cattle farming systems and technologies / A. Aboltins, L. Melece, J. Priekulis // Agronomy Research. – 2019. – Vol. 17, № 2. – P. 322–332. https://doi.org/10.15159/AR.19.081

14. Estimation of ammonia emission inventory using life cycle assessment based on livestock manure flow: a case study of the manure management sector in Korea / H.-M. Lee, K.-C. Kim, M.-W. Kim [et al.] // Atmosphere. – 2024. – Vol. 15, № 8. – Art. 910. https://doi.org/10.3390/atmos15080910

15. Bleizgys, R. Ammonia emissions from cattle manure under variable moisture exchange between the manure and the environment / R. Bleizgys, V. Naujokiene // Agronomy. – 2023. – Vol. 13, № 6. – Art. 1555. https://doi.org/10.3390/agronomy13061555

16. Modeling and prediction accuracy of ammonia gas emissions from feedlot cattle / M. S. Brown, N. A. Cole, S. Gruber [et al.] // Applied Animal Science. – 2019. – Vol. 35, № 3. – P. 347–356. https://doi.org/10.15232/aas.2018-01834

17. Разработка параметрической модели определения газового состава воздушной среды (аммиак, сероводород, углекислый газ) животноводческого помещения / В. В. Кирсанов, И. М. Довлатов, С. С. Юрочка, И. В. Комков // Агроинженерия. – 2023. – Т. 25, № 3. – С. 13–22. https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-3-13-22

18. Расчет уровня выбросов климатически активных газов при производстве молока / С. В. Вторый, Т. Ю. Миронова, Т. И. Гордеева, С. Н. Матейчик // АгроЭкоИнженерия. – 2024. – № 4 (121). – С. 131–143. https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-4121-131-143

19. Model estimation and measurement of ammonia emission from naturally ventilated dairy cattle buildings with slatted floor designs / C. Wang, B. Li, G. Zhang [et al.] // Journal of the Air & Waste Management Association. – 2006. – Vol. 56, № 9. – P. 1252–1259. https://doi.org/10.1080/10473289.2006.10465678

20. Methane emission characteristics of naturally ventilated cattle buildings / S. Hempel, D. Willink, D. Janke [et al.] // Sustainability. – 2020. – Vol. 12, № 10. – Art. 4314. https://doi.org/10.3390/su12104314

21. Direct measurements of the volume flow rate and emissions in a large naturally ventilated building / D. Janke, Q. Yi, L. Thormann [et al.] // Sensors. – 2020. – Vol. 20, № 21. – Art. 6223. https://doi.org/10.3390/s20216223

22. Вторый, В. Ф. $CO_2$ как индикаторный газ для определения воздухообмена в коровнике / В. Ф. Вторый, С. В. Вторый // Аграрный научный журнал. – 2023. – № 10. – С. 154–160. https://doi.org/ 10.28983/asj.y2023i10pp154-160

## References

1. Vtoryi S. V., Kovalev S. V., Komoedov A. D. Analysis of young-stock breeding technologies for the development of monitoring instruments of gas concentrations in livestock houses. *Agrarnyi nauchnyi zhurnal = The Agrarian Scientific Journal*, 2025, no. 12, pp. 153–163 (in Russian). https://doi.org/10.28983/asj.y2025i12pp153-163

2. Guo H., Su Z., Yang X., Xu S., Pan H. Greenhouse gas emissions from beef cattle breeding based on the ecological cycle model. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, vol. 19, no. 15, art. 9481. https://doi.org/10.3390/ijerph19159481

3. Vitaliano S., D'Urso P. R., Arcidiacono C., Cascone G. Ammonia emissions and building-related mitigation strategies in dairy barns: a review. *Agriculture*, 2024, vol. 14, no. 7, art. 1148. https://doi.org/10.3390/agriculture14071148

4. Ramirez-Restrepo C. A., Vera R., Rao I. M. The carbon footprint of young-beef cattle finishing systems in the Eastern Plains of the Orinoco River Basin of Colombia. *Frontiers in Animal Science*, 2023, vol. 4, art. 1103826. https://doi.org/10.3389/fanim.2023.1103826

5. Zhu Z., Li L., Dong H., Wang Y. Ammonia and greenhouse gase missions of different types of livestock and poultry manure during storage. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 2020, vol. 63, no. 6, pp. 1723–1733. https://doi.org/10.13031/trans.14079

6. Briukhanov A. Yu., Vasilev E. V., Bazykin V. I., Shalavina E. V. Study of greenhouse gas emission from young cattle manure processing. *Inzhenernye tekhnologii i sistemy = Engineering Technologies and Systems*, 2025, vol. 35, no. 3, pp. 465–488 (in Russian). https://doi.org/10.15507/2658-4123.035.202503.465-488

7. Calvet S., Estelles F., Prado A., Groenestein K. Modelling methane emission from manure. *Technology for environmentally friendly livestock production*. Cham, 2023, pp. 137–145. https://doi.org/10.1007/978-3-031-19730-76

8. Jiao H., Yan T., Wills D. A., Carson A. F., McDowell D. A. Development of prediction models for quantification of total methane emission from enteric fermentation of young Holstein cattle at various ages. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2014, vol. 183, no. 6, pp. 160–166. http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2013.11.004

9. Lee H., Kim M., Masaki T., Oikawa K., Ashihara A., Ikuta K., Iwamoto E., Nonaka I., Haga S., Roh S., Suzuki T., Terada F., Uemoto Y. Prediction equation development for methane-related traits accounting for physiological traits in Japanese Black cattle. *Animal Science Journal*, 2026, vol. 97, art. e70144. https://doi.org/10.1111/asj.70144

10. Marumo J. L., LaPierre P. A., Van Amburgh M. E. Enteric methane emissions prediction in dairy cattle and effects of Monensin on methane emissions: a meta-analysis. *Animals*, 2023, vol. 13, no. 8, art. 1392. https://doi.org/10.3390/ani13081392

11. Soares D. M., Bernardino S., Rodrigues N., Gama I., Almeida J. M., Teixeira R. F. M., Santos-Silva J., Alves S. P., Domingos T., Martin C., Marques G. M., Bessa R. J. B. Effect of a corn silage-based finishing diet on growth, carcass

composition, meat quality, methane emissions and carbon footprint of crossbred angus young bulls. *Sustainability*, 2025, vol. 17, no. 18, art. 8417. https://doi.org/10.3390/su17188417

12. Lee M., Auvermann B. W., Tedeschi L. O., Koziel J. A., Brandani C. B., Gouvea V. N., Smith J. K., Casey K. D. Ammonia emissions from beef cattle feed yards: a review. *Frontiers in Animal Science*, 2025, vol. 6, art. 1608387. https://doi.org/ 10.3389/fanim.2025.1608387

13. Aboltins A., Melece L., Priekulis J. Model for ammonia emissions' assessment and comparison of various dairy cattle farming systems and technologies. *Agronomy Research*, 2019, vol. 17, no. 2, pp. 322–332. https://doi.org/10.15159/AR.19.081

14. Lee H.-M., Kim K.-C., Kim M.-W., Lee J.-Y., Joo H.-S. Estimation of ammonia emission inventory using life cycle assessment based on livestock manure flow: a case study of the manure management sector in Korea. *Atmosphere*, 2024, vol. 15, no. 8, art. 910. https://doi.org/10.3390/atmos15080910

15. Bleizgys R., Naujokiene V. Ammonia emissions from cattle manure under variable moisture exchange between the manure and the environment. *Agronomy*, 2023, vol. 13, no. 6, art. 1555. https://doi.org/10.3390/agronomy13061555

16. Brown M. S., Cole N. A., Gruber S., Kube J., Teeter J. S. Modeling and prediction accuracy of ammonia gas emissions from feedlot cattle. *Applied Animal Science*, 2019, vol. 35, no. 3, pp. 347–356. https://doi.org/10.15232/aas.2018-01834

17. Kirsanov V. V., Dovlatov I. M., Yurochka S. S., Komkov I. V. Development of a parametric model for determining the gas composition of the air environment (ammonia, hydrogen sulfide, carbon dioxide) of livestock premises. *Agroinzheneriya = Agricultural Engineering*, 2023, vol. 25, no. 3, pp. 13–22 (in Russian). https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-3-13-22

18. Vtoryi S. V., Mironova T. Yu., Gordeeva T. I., Mateichik S. N. Calculation of emission level of climate-active gases in milk production. *AgroEkoInzheneriya = AgroEcoEngineering*, 2024, no. 4 (121), pp. 131–143 (in Russian). https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-4121- 131-143

19. Wang C., Li B., Zhang G., Rom H. B., Strom J. S. Model estimation and measurement of ammonia emission from naturally ventilated dairy cattle buildings with slatted floor designs. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 2006, vol. 56, no. 9, pp. 1252–1259. https://doi.org/10.1080/10473289.2006.10465678

20. Hempel S., Willink D., Janke D., Ammon C., Amon B., Amon T. Methane emission characteristics of naturally ventilated cattle buildings. *Sustainability*, 2020, vol. 12, no. 10, art. 4314. https://doi.org/10.3390/su12104314

21. Janke D., Yi. Q., Thormann L., Hempel S., Amon B., Nosek S., Van Overbeke P., Amon T. Direct measurements of the volume flow rate and emissions in a large naturally ventilated building. *Sensors*, 2020, vol. 20, no. 21, art. 6223. https://doi.org/10.3390/s20216223

22. Vtoryi V. F., Vtoryi S. V. $CO_2$ as a tracer gas for determining the air exchange in a cow barn. *Agrarnyi nauchnyy zhurnal = The Agrarian Scientific Journal*, 2023, no. 10, pp. 154–160 (in Russian). https://doi.org/10.28983/asj.y2023i10pp154-160

## Информация об авторах

*Вторый Сергей Валерьевич* – кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела агроэкологии в животноводстве, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) (Фильтровское шоссе, 3, 196634, Санкт-Петербург, Тярлево, Российская Федерация). http://orcid.org/0000-0002-7169-1625. E-mail: 2vt_1981@list.ru

*Гордеев Владислав Владимирович* – кандидат технических наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела агроэкологии в животноводстве, ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (Фильтровское шоссе, 3, 196634, Санкт-Петербург, Тярлево, Российская Федерация) http://orcid.org/0000-0001-6181-396X. E-mail: cow-sznii@yandex.ru

*Ковалев Сергей Владимирович* – младший научный сотрудник отдела агроэкологии в животноводстве, ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (Фильтровское шоссе, 3, 196634, Санкт-Петербург, Тярлево, Российская Федерация). http://orcid.org/0009-0009-1310-4283. E-mail: kovalyov.sv@yandex.ru

*Комоедов Алексей Дмитриевич* – младший научный сотрудник отдела агроэкологии в растениеводстве, ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (Фильтровское шоссе, 3, 196634, Санкт-Петербург, Тярлево, Российская Федерация). http://orcid.org/0009-0008-7718-6436. E-mail: komoedov.alexej@yandex.ru.

## Information about the authors

*Sergei V. Vtoryi* – Ph. D. (Engineering), Senior Researcher of the Department of Agroecology in Livestock Production, Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Agroengineering Center VIM" (IEEP – branch of FSAC VIM) (3, Filtrovskoje Shosse, 196634, Saint Petersburg, Tiarlevo, Russian Federation). http://orcid.org/0000-0002-7169-1625. E-mail: 2vt_1981@list.ru

*Vladislav V. Gordeev* – Ph. D. (Engineering), Associate Professor, Leading Researcher of the Department of Agroecology in Livestock Production, IEEP – branch of FSAC VIM (3, Filtrovskoje Shosse, 196634, Saint Petersburg, Tiarlevo, Russian Federation). http://orcid.org/0000-0001-6181-396X. E-mail: cow-sznii@yandex.ru

*Sergei V. Kovalev* – Junior Researche of the Department of Agroecology in Livestock Production, IEEP – branch of FSAC VIM (3, Filtrovskoje Shosse, 196634, Saint Petersburg, Tiarlevo, Russian Federation). http://orcid.org/0009-0009-1310-4283. E-mail: kovalyov.sv@yandex.ru

*Alexey D. Komoedov* – Junior Researcher of the Department of Agroecology in Crop Production, IEEP – branch of FSAC VIM (3, Filtrovskoje Shosse, 196634, Saint Petersburg, Tiarlevo, Russian Federation). http://orcid.org/0009-0008-7718-6436. E-mail: komoedov.alexej@yandex.ru

ISSN 1817-7204 (Print)
ISSN 1817-7239 (Online)

## *МЕХАНІЗАЦЫЯ І ЭНЕРГЕТЫКА*
## *MECHANIZATION AND POWER ENGINEERING*

УДК 631.173(476)
https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-4-319-330

Поступила в редакцию 22.07.2026
Received 22.07.2026

**П. П. Казакевич[1], А. В. Пилипук[2], Н. В. Артюшевский[2]**

*[1]Президиум Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь*
*[2]Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, Минск, Республика Беларусь*

# СОВРЕМЕННЫЕ МОДЕЛИ РАЗВИТИЯ АГРОСЕРВИСА В БЕЛАРУСИ: СЕРВИСНАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ И ФИНАНСОВАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ

**Аннотация.** Представлен системный анализ эволюции и современного состояния агросервиса в Республике Беларусь. Отражена его значимая роль в развитии крупнотоварного сельскохозяйственного производства. На основе опыта предприятий Гродненской области описаны три модели функционирования: классическая сервисно-ориентированная (100 % выручки от услуг), сельскохозяйственная (агросервис с собственным земледелием на 200–1 000 га) и промышленная (гибридная, где около 90 % выручки организация получает от производства техники и оборудования). Установлено, что низкая платежеспособность сельхозорганизаций и слабая платежная дисциплина (до 60 % платежей с задержкой от 2 до 6 мес.) объективно вынуждают сервисные предприятия диверсифицировать доходы через уход в непрофильные сферы. Такое решение локальных финансовых проблем ведет к утрате технологической специализации и дефициту сервисных мощностей. Впервые проведена оценка экономической эффективности моделей с учетом реальных денежных потоков и рисков неплатежей, что позволило обозначить скрытый парадокс: классическая модель при формально высоких показателях рентабельности генерирует максимальные кассовые разрывы, угрожающие ее финансовой устойчивости. Рассмотрены меры государственного регулирования, включая ценовые ограничения, товарообменные операции и создание межрайонных механизированных отрядов. Предложен комплекс мер по повышению финансовой дисциплины сельхозорганизаций и сохранению профильной специализации агросервисных предприятий.

**Ключевые слова:** агросервис, сервисная специализация, финансовая устойчивость, диверсификация, сельскохозяйственные организации, ресурсосберегающие технологии, эффективность агросервисной деятельности, конкурентоспособность

**Для цитирования:** Казакевич, П. П. Современные модели развития агросервиса в Беларуси: сервисная специализация и финансовая устойчивость / П. П. Казакевич, А. В. Пилипук, Н. В. Артюшевский // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2026. – Т. 64, № 4. – С. 319–330. https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-4-319-330

**Petr P. Kazakevich[1], Andrei V. Pilipuk[2], Nikolay V. Artyushevskiy[2]**

*[1] Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*
*[2]Institute of System Researches in the Agro-Industrial Complex of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*

# MODERN MODELS OF AGRICULTURAL SERVICE DEVELOPMENT IN BELARUS: SERVICE SPECIALIZATION AND FINANCIAL SUSTAINABILITY

**Abstract.** The paper examines the evolution and current configuration of agri-service enterprises in the Republic of Belarus and their role in supporting large-scale agricultural production. Using evidence from several service companies in Grodno region, the authors identify three distinct business models – a classical service-centred operator (100 % revenue from services), a mixed agri-service with own farming on 200–1,000 ha, and an industrial–agri-service hybrid (~90 % revenue from equipment production) – and quantify their financial performance under conditions of persistent payment delays by farm clients. The results show that illiquidity and weak payment discipline in the primary agricultural sector (up to 60 % of payments delayed 2–6 months) systematically push agri-service firms to diversify into non-core activities, which helps to close short-term cash gaps but erodes technological specialization and leads to a structural shortage of service capacity. For the first time, the models' economic efficiency was assessed using actual cash flows and non-payment risks, revealing a hidden paradox: despite formally high profitability indicators, the classical model generates the largest cash gaps, threatening its

© Казакевич П. П., Пилипук А. В., Артюшевский Н. В., 2026

own financial sustainability. The article analyses recent policy instruments, including price regulation, targeted exemptions for barter operations and the establishment of inter-district mechanized units, and argues that these tools can only be effective if combined with measures to strengthen financial discipline of agricultural producers and to explicitly prioritise service revenues in support schemes for agri-service enterprises.

**Keywords:** agri-service, service specialization, financial sustainability, diversification, agricultural organizations, resource-saving technologies, efficiency of agri-service activity, competitiveness

**For citation:** Kazakevich P. P., Pilipuk A. V., Artyushevskiy N. V. Modern models of agricultural service development in Belarus: service specialization and financial sustainability. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2026, vol. 64, no. 4, pp. 319–330 (in Russian). https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-4-319-330

**Введение.** Важное звено современного белорусского крупнотоварного сельского хозяйства – агросервис. Это многофункциональное обслуживающее предприятие, которое обеспечивает использование промышленных технологий, ресурсосбережение и, как следствие, конкурентоспособность сельскохозяйственного производства. Однако, несмотря на важность данной сферы, практическая эволюция агросервисных структур в ряде стран с переходной экономикой демонстрирует устойчивую тенденцию к размыванию их профильной специализации. В условиях укрупнения сельскохозяйственных предприятий или, напротив, при попытках самих агросервисных структур диверсифицировать доходы, наблюдается постепенный уход из сферы услуг в сферу первичного производства или промышленного изготовления продукции. Этот процесс усугубляется низкой платежеспособностью и слабой платежной дисциплиной основных потребителей услуг, что формирует системные кассовые разрывы и вынуждает сервисные компании искать альтернативные, зачастую непрофильные, источники выручки.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Эволюция теоретических и практических подходов к организации агросервиса отражает поиск баланса между государственным регулированием и рыночной самостоятельностью. На начальном этапе реформирования (1993 г.) разрушение централизованной системы снабжения требовало поэтапного перехода к рыночным отношениям с сохранением элементов государственной поддержки для предотвращения коллапса сельскохозяйственного производства [1, с. 6]. В условиях становления рыночных отношений (1996 г.) была обоснована необходимость трансформации системы снабжения путем создания структур, аналогичных западным дилерским сетям, комиссионным предприятиям. При этом подчеркивалось, что демонополизация сферы является ключевым условием ее эффективного функционирования [2, с. 25].

К началу 2000-х гг. фокус сместился в сторону интеграционных процессов. Аргументирована целесообразность создания холдинговых структур (на примере концепции «Белагромашсервиса»), объединяющих машиностроение, техническое обслуживание и снабжение на базе государственной собственности с элементами приватизации, что позволяло проводить единую техническую политику [3, с. 4–5]. В дальнейшем научная мысль развивалась в направлении адаптивного управления и инноваций: необходимость внедрения нормативно-экономических механизмов [4, с. 215], важность конструктивной, инновационной адаптации предприятий к рыночной конъюнктуре [5, с. 89; 6, с. 264] (табл. 1).

Таблица 1. **Эволюция теоретических подходов к организации агросервиса в АПК**

Table 1. **Evolution of theoretical approaches to the organization of agri-service in the agro-industrial complex**

| Период/Источник | Ключевой подход | Основной фокус исследования |
|---|---|---|
| 1990-е гг. [1, 2] | Трансформация и демонополизация | Переход от централизованного фондирования к рыночным структурам, создание дилерских сетей, лизинговых и кооперативных форм |
| 2000-е гг. [3] | Вертикальная и горизонтальная интеграция | Создание холдингов, объединяющих машиностроение, ремонт и снабжение для проведения единой технической политики |
| 2010-е гг. [5, 7, 8] | Совершенствование взаиморасчетов и инноваций | Натуральная оплата, дифференцированная по урожайности, кооперативные модели, математическая оптимизация инновационных портфелей |
| Современный этап [4, 6] | Адаптивное и нормативное управление | Внедрение механизмов взаимного проникновения капиталов, ценовое нормирование, конструктивная адаптация к кризисным явлениям |

Дальнейшее углубление теоретических представлений о функционировании отрасли опирается на анализ региональных и зарубежных практик, а также проблематику адаптации к рыночным условиям. В частности, в [9] по данному поводу утверждается, что, «как правило, предприятия агросервиса – это такие организации, которые изначально формировались из маленьких фирм с небольшим штатом, где каждый сотрудник совмещал несколько должностей, отвечая за выполнение разных видов работ. Затем, по мере роста, фирмы становились более профессиональными организациями, укрепляя свои позиции на рынке, приобретая известность, образовывая обособленные структурные подразделения – филиалы, представительства». Вопросы развития торговли сервисными организациями при поставках агрохимии рассматриваются Т. Тищенко, О. Короленко [10], которые подчеркивают важность данного направления в хозяйственной деятельности агросервисов.

Фундаментальные проблемы себестоимости и демонополизации вторичного рынка раскрыты Г. Я. Казаковой в [11, с. 124]. Доказано, что «с увеличением числа производителей ремонтно-технических и торгово-технических услуг создаются предпосылки к зарождению их конкуренции, однако их снижение ограничивается средней себестоимостью услуг, оказываемых мелкими предприятиями». Российский опыт организации сервисных сетей подтверждает эффективность мощных дилерских структур, системы trade-in и высоких стандартов послепродажного обслуживания, поскольку «фирмы – производители сельскохозяйственных машин реализуют принципы аутсорсинга и франчайзинга» [12, с. 30]. Аналогичные выводы о критической важности развития вторичного рынка и фирменных дилерских центров на фоне снижения технической оснащенности хозяйств сделаны Д. Климиным [13, с. 164]. Показано, что «техническая оснащенность сельскохозяйственных организаций различными видами средств механизации постоянно снижается».

В условиях финансовой нестабильности особую роль играют механизмы интеграции и взаиморасчетов. А. Г. Синюковым [8, с. 171] описан опыт Сибири, где широкое распространение получил бартер, поскольку «оплата производственно-технологических услуг осуществляется в основном в натуральном выражении». При этом автор отмечает, что «модель кооперативного типа более предпочтительна, ибо прибылизация агросервисных предприятий по второму варианту привела к ущемлению экономических интересов сельхозтоваропроизводителей» [7]. На постсоветском пространстве, в частности в Таджикистане [14, с. 46], произошло резкое сокращение материально-технической базы после реформ и возникла необходимость законодательного закрепления налоговых льгот, так как «предоставленные льготы способствовали увеличению количества фермерских хозяйств и их развитию».

Несмотря на богатый теоретический базис, практическая реализация сталкивается с проблемой утраты агросервисом своей основной функции. На примере Городокского района убедительно доказано, что присоединение убыточных сельскохозяйственных предприятий к райагропромснабу превращает сервисную организацию преимущественно в производителя сельскохозяйственной продукции. Это приводит к сокращению объемов работ по агросервисному обслуживанию других хозяйств района и не повышает общую эффективность сектора [15, с. 48–49].

Анализ деятельности конкретных агросервисных организаций Гродненской области подтверждает этот тренд. Так, данные по КПУП «Новогрудская сельхозтехника» (типичное агросервисное предприятие) показывают, что, несмотря на умеренный рост выручки, предприятие сталкивается с критическим ростом краткосрочной кредиторской задолженности, которая приближается к уровню годовой выручки, что свидетельствует о высокой зависимости от внешних источников покрытия текущих расходов. ОАО «Вороновская сельхозтехника» демонстрирует положительную динамику, но основной объем выручки (около 90 %) формируется за счет производства прицепов, то есть промышленной деятельности, тогда как механизированные работы и автотранспорт занимают незначительную долю. ОАО «Ивьевская сельхозтехника» (также типичное агросервисное предприятие) характеризуется волатильностью выручки и ограниченным резервом инвестиций в обновление парка техники. ОАО «Дятловская сельхозтехника» прошла радикальную трансформацию, сместив фокус с сервисных услуг на производство доильного оборудования, доля которого в выручке достигает 91 %, что позволяет обновлять машинно-тракторный парк.

Важным инструментом государственного воздействия на финансовые потоки в агропромышленном комплексе выступает ценовое регулирование. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 19 октября 2022 г. № 713 «О системе регулирования цен» регламентирует систему ограничения роста цен и запрещает товарообменные операции без поступления денежных средств. Для предприятий агросервиса, функционирующих в условиях дефицита оборотных средств у сельскохозяйственных организаций-заказчиков, подобные ограничения создают дополнительные барьеры. Однако нормативная база предусматривает исключения, позволяющие применять такие подходы.

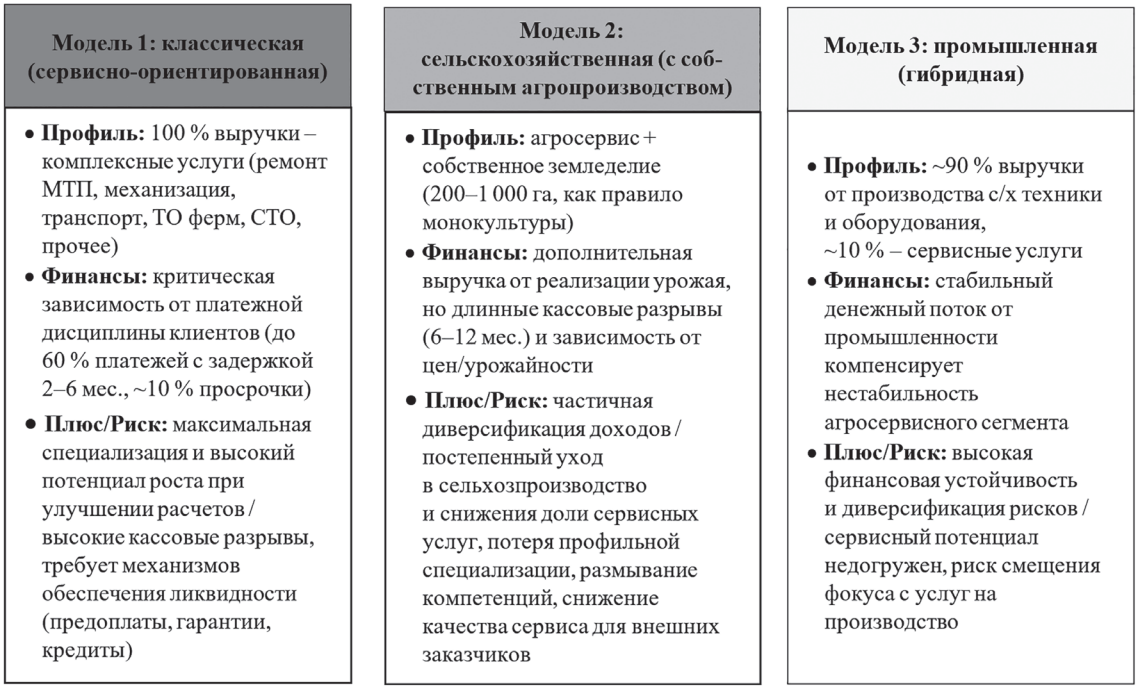
Показательным примером адаптации государственного регулирования к реалиям аграрного сектора является решение Гродненского областного исполнительного комитета от 22 апреля 2025 г. № 224. Данный нормативный акт утвердил перечень товарообменных операций, в которых субъекты агросервиса, такие как районные предприятия сельхозтехники, получили право осуществлять бартер, мену и зачет взаимных обязательств без движения наличности. Предприятия технического сервиса смогли «обменивать» выполненные ремонтные работы, запасные части и сельскохозяйственные машины на продукцию растениеводства и животноводства, включая зерно, молоко, скот и корма, не нарушая при этом республиканских ограничений по ценообразованию.

Низкая платежеспособность сельскохозяйственных организаций, запрет большинства товарообменных операций и их частичная легализация через региональные исключения формируют для агросервиса институциональную ловушку. Классическая сервисная специализация в таких условиях оказывается экономически невыгодной: чтобы компенсировать кассовые разрывы, предприятия вынуждены уходить в производство или торговлю. Это ведет к системному дефициту профильных сервисных мощностей.

Параллельно с мерами по точечной адаптации экономического регулирования к реалиям аграрного сектора государство предпринимает шаги по централизованно регулируемому сохранению специализации и технологическому обновлению материально-технической базы агросервисных предприятий. Постановление Совета Министров от 10 декабря 2024 г. № 938 «О межрайонных механизированных отрядах» (далее – постановление № 938) демонстрирует курс на централизованную поддержку профильных сервисных организаций. Документ предусматривает прямые государственные закупки высокопроизводительной техники, включая энергонасыщенные тракторы и современные комбайны, исключительно для базовых предприятий агросервиса в отдельных регионах. Концентрация дорогостоящей техники в специализированных сервисных структурах, а не ее распыление по финансово неустойчивым сельскохозяйственным организациям, позволяет агросервису сохранять свой профиль. Государство фактически стимулирует сервисные компании выполнять роль главных операторов критически важных полевых работ, что снижает тенденции их трансформации в многопрофильные организации с доминированием сельскохозяйственного производства и способствует загрузке мощностей именно в сфере оказания технологических услуг.

Таким образом, современное государственное регулирование в сфере агросервиса последовательно наращивает инструментарий селективной поддержки профильных сервисных организаций. В данной связи межрайонные механизированные отряды выступают институтом, который закрепляет за агросервисом статус специализированного оператора технических услуг и тем самым напрямую влияет на сохранение сервисной специализации.

Детальный анализ видов деятельности агросервисных предприятий Гродненской области также показывает диверсификацию их видов деятельности. Наряду с классическими услугами (ремонт техники, известкование, транспортировка), многие организации (например, ОАО «Щучинский ремонтный завод», ОАО «Минойтовский ремонтный завод») значительные ресурсы направляют на производство нестандартных металлоизделий, плугов, агрегатов и оптовую торговлю запасными частями. Это свидетельствует о том, что для поддержания устойчивости в условиях дефицита оборотных средств агросервисные структуры замещают недостающий спрос на услуги собственным производством или торговой деятельностью. Проведенный анализ позволил обосновать три модели современного развития агросервиса (рисунок).




Модели работы агросервисного предприятия

Agricultural Service Enterprise Operating Models

**Модель 1: классическое агросервисное предприятие (сервисно-ориентированная модель).** Агросервисное предприятие, функционирующее по модели 1, представляет собой многофункциональную организацию производственно-технического профиля, ориентированную на оказание комплексных услуг сельскохозяйственным товаропроизводителям. Модель соответствует системе агротехнического сопровождения сельскохозяйственного производства, сложившейся еще в советский период в Республике Беларусь и других странах с развитой аграрной структурой.

Предприятие характеризуется диверсифицированной производственной структурой, включающей следующие основные подразделения.

*Ремонтные мастерские и заводы* – осуществляют текущий и капитальный ремонт сельскохозяйственной техники, узлов и агрегатов, обеспечивая восстановление работоспособности машинно-тракторного парка сельхозорганизаций. Деятельность ведется в рамках утвержденных нормативов трудоемкости и сметной стоимости ремонта. (По Гродненской области в 2024 г. среднегодовой объем оказанных услуг одной организацией для такой модели составляет около 600 тыс. р., рентабельность затрат – около 8 %.)

*Подразделения механизированных работ* – выполняют полный цикл агротехнических операций, включая подготовку почвы, посев, уход за посевами, внесение удобрений и средств защиты растений, уборку урожая. Объемы работ определяются договорными обязательствами с сельхозпредприятиями и сезонным графиком проведения полевых операций. (По Гродненской области объем оказанных услуг колебался в среднем более 650 тыс. р., рентабельность затрат – около 10 %.)

*Автотранспортное хозяйство* – обеспечивает транспортировку сельскохозяйственной продукции, грузов и материалов, включая внутрихозяйственные и межхозяйственные перевозки. Деятельность регулируется показателями грузооборота (тыс. т·км) и эксплуатационной эффективностью подвижного состава. (По Гродненской области объем оказанных услуг по данному виду деятельности значительно отличается у предприятий, работающих по первой модели.)

*Линейно-монтажные участки* – специализируются на установке, наладке и вводе в эксплуатацию оборудования на животноводческих фермах (доильные установки, кормораздатчики, системы вентиляции и микроклимата и др.). (По Гродненской области 6 организаций выполняют такие работы, объем оказанных услуг также значительно отличается, рентабельность затрат – около 3 %.)

*Служба технического обслуживания оборудования животноводческих ферм* – обеспечивает плановое и аварийное обслуживание технологического оборудования, поддерживая его работоспособность в круглогодичном режиме. (По Гродненской области 7 организаций оказывали такие услуги с относительно высокой рентабельностью затрат – около 14 %.)

*Станция технического обслуживания (СТО)* – предоставляет услуги по техническому обслуживанию, диагностике и текущему ремонту автомобилей, тракторов и другой техники, принадлежащей как сельхозпредприятиям, так и физическим лицам. (По Гродненской области 4 организации оказывали такие услуги. Деятельность в среднем убыточная.)

*Прочие производства* – включают вспомогательные и подсобные производства, обеспечивающие внутренние потребности предприятия или реализующие продукцию на сторону (например, погрузо-разгрузочные работы, экскаваторные услуги, шиномонтаж, металлообработка, деревообработка, хранение техники и др.). Средний уровень рентабельности высокий – 26 %.

Дополнительно *оптовой торговлей* занимались 15 организаций с рентабельностью оборота – около 10 %.

Анализ табл. 2 позволяет оценить структуру и масштаб деятельности агросервисного предприятия, ориентированного на оказание услуг сельхозпроизводителям. Приведенные данные содержат три уровня объемов – минимальный, средний и оптимальный – по различным направлениям деятельности. При этом средние значения по видам услуг могут существенно варьироваться в зависимости от региона, специализации сельхозпредприятий и наличия технической базы у агросервиса. Некоторые виды деятельности могут иметь нулевой объем, что говорит об их отсутствии как системной составляющей в конкретном предприятии.

Таблица 2. **Объем услуг агросервисного предприятия (модель 1): минимальный, средний и оптимальный уровни с учетом платежной дисциплины, тыс. р.**

Table 2. **Volume of services provided by the agri-service enterprise (Model 1): minimum, average, and optimal levels accounting for payment discipline, thousand rubles**

| Наименование услуг и видов деятельности | Объем оказываемых услуг (в среднем) | | |
|---|---|---|---|
| | Минимальный | Средний | Оптимальный |
| Ремонтные заводы и мастерские | 147,9 | 433,8 | 611,2 |
| в том числе | | | |
| производство | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| ремонт | 147,9 | 433,8 | 611,2 |
| Механизированные работы и услуги | 169,6 | 497,5 | 701,0 |
| Автотранспортные хозяйства | 186,3 | 546,6 | 770,2 |
| Линейно-монтажные участки по механизации животноводческих ферм | 161,1 | 472,6 | 665,9 |
| Техническое обслуживание оборудования животноводческих ферм | 385,2 | 1 129,9 | 1 592,1 |
| Станция технического обслуживания автомобилей тракторов и машинно-тракторного парка | 71,2 | 208,8 | 294,3 |
| Мелиоративное обслуживание сельского хозяйства | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Сельскохозяйственное производство | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Льноперерабатывающее производство | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Прочие производства | 378,7 | 1 110,8 | 1 565,2 |
| Оптовая торговля | – | 1 279,3 | 1 802,7 |
| ВСЕГО услуг (без торговли) | 1 500,0 | 4 400,0 | 6 200,0 |

Оптимальный объем услуг для модели 1 определен расчетным способом с учетом условия, что доступные средства для финансирования и развития должны обеспечивать минимально необходимый уровень обновления основных средств предприятия. Он установлен с учетом реальной практики расчетов в сельском хозяйстве, где около 60 % платежей осуществляются с задержкой от 2 до 6 мес., а примерно 10 % обязательств переходят в просроченную дебиторскую задолженность. Оптимальный объем услуг – это не потенциальный максимум спроса, а реалистичная оценка доходов с учетом низкой платежеспособности и слабой дисциплины расчетов со стороны сельхозорганизаций. Если бы все обязательства погашались вовремя, оптимальный

уровень практически совпал бы со средним, что указывает на значительный потенциал недоиспользования – как в плане выручки, так и в отношении загрузки производственных мощностей.

Фактически модель 1 функционирует в условиях системного кассового разрыва: услуги оказываются, но деньги поступают с задержкой (в ряде случаев задолженность не гасится). Это создает постоянное напряжение в финансировании текущей деятельности, требует высокой устойчивости предприятия к колебаниям денежных потоков и формированию резервов. В то же время если удастся улучшить дисциплину расчетов – например, за счет предоплат, долгосрочных контрактов или государственных гарантий, – объем реально реализуемой деятельности может вырасти на 20–25 % без увеличения технической базы.

Таким образом, данная модель представляет собой классическое агросервисное предприятие, чья эффективность напрямую зависит от платежеспособности сельхозпроизводителей. Реальный потенциал объема услуг значительно выше текущего среднего уровня, однако он сдерживается низкой дисциплиной расчетов. В данной связи улучшение платежной дисциплины со стороны клиентов способно обеспечить существенный рост доходов без дополнительных инвестиций в технику или персонал.

**Модель 2: сельскохозяйственно-агросервисное предприятие.** Данная модель представляет собой организацию, сочетающую оказание услуг сельхозпроизводителям с собственной сельскохозяйственной деятельностью. При этом речь не идет о трансформации в крупное сельскохозяйственное предприятие, поскольку такая переориентация сопряжена с потерей профильной специализации и снижением доли сервисной деятельности, что экономически нецелесообразно. Вместо этого предприятие владеет или арендует относительно небольшой земельный участок площадью 200–1 000 га, используемый для ведения сельскохозяйственного производства, как правило, в форме монокультурного земледелия (например, выращивание пшеницы, рапса или картофеля). Основные показатели деятельности организации по модели 2 представлены в табл. 3.

Таблица 3. **Объем оказываемых услуг агросервисного предприятия с собственным сельскохозяйственным производством (модель 2): минимальный, средний и оптимальный уровни с учетом платежной дисциплины, тыс. р.**

Table 3. **Volume of services provided by the agri-service enterprise with its own agricultural production (Model 2): minimum, average, and optimal levels accounting for payment discipline, thousand rubles**

| Наименование услуг и видов деятельности | Объем оказываемых услуг (в среднем) | | |
|---|---|---|---|
| | Минимальный | Средний | Оптимальный |
| Ремонтные заводы и мастерские | 147,9 | 404,2 | 483,1 |
| в том числе | | | |
| производство | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| ремонт | 147,9 | 404,2 | 483,1 |
| Механизированные работы и услуги | 169,6 | 463,6 | 554,1 |
| Автотранспортные хозяйства | 186,3 | 509,3 | 608,7 |
| Линейно-монтажные участки по механизации животноводческих ферм | 161,1 | 440,4 | 526,3 |
| Техническое обслуживание оборудования животноводческих ферм | 385,2 | 1 052,8 | 1 258,3 |
| Станция технического обслуживания автомобилей тракторов и машинно-тракторного парка | 71,2 | 194,6 | 232,6 |
| Мелиоративное обслуживание сельского хозяйства | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Сельскохозяйственное производство | 0,0 | 502,9 | 1746,3 |
| Льноперерабатывающее производство | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Прочие производства | 378,7 | 1 035,1 | 1 237,0 |
| Оптовая торговля | – | 1 192,1 | 1 424,7 |
| ВСЕГО | 1 500,0 | 4 602,9 | 6 646,3 |

Наличие собственных земель позволяет предприятию частично диверсифицировать финансовые риски, связанные с несвоевременными расчетами за оказанные услуги. Реализация сельхозпродукции обеспечивает дополнительный поток выручки, снижая зависимость от платежной дисциплины клиентов. Однако степень этой диверсификации ограничена, поскольку обязательность расчетов со стороны перерабатывающих и сбытовых организаций не всегда превосходит

уровень ответственности сельхозпроизводителей, что снижает эффективность такого механизма страхования рисков.

Кроме того, сельскохозяйственное производство характеризуется значительными кассовыми разрывами между моментом осуществления затрат (закупка семян, СЗР, ГСМ, оплата работ) и получением выручки от реализации продукции (6–12 мес.). Эти временные лаги ограничивают масштабы обрабатываемых площадей и препятствуют расширению производственной деятельности за счет собственных оборотных средств. В результате объем земель, который может быть эффективно освоен в рамках данной модели, остается ограниченным, а дальнейшее наращивание площадей требует привлечения внешнего финансирования или существенного увеличения ликвидности.

Таким образом, модель 2 обеспечивает определенную устойчивость за счет диверсификации доходов, но сталкивается с внутренними ограничениями, обусловленными как особенностями рынка сельхозпродукции, так и циклической природой сельскохозяйственного производства. Это делает ее уязвимой к колебаниям цен, урожайности и сроков оплаты, а также ограничивает потенциал масштабирования сервисной деятельности.

**Модель 3: промышленно-агросервисное предприятие.** Эта модель функционирования агросервисного предприятия сочетает в себе элементы промышленного производства и сервисного обслуживания сельскохозяйственных организаций. С точки зрения структуры выручки предприятие классифицируется как промышленное, поскольку доля промышленной продукции – сельскохозяйственной техники, машин и оборудования – составляет около 90 % от общего объема выручки. В то же время в контексте локальной экономической среды и взаимодействия с сельхозпредприятиями района данная организация выполняет функции типичного агросервисного предприятия, оказывая сопоставимый по объему комплекс услуг, аналогичный показателям организаций первой модели (табл. 4).

Таблица 4. **Объем оказываемых услуг промышленного агросервисного предприятия (модель 3): минимальный, средний и оптимальный уровни с учетом платежной дисциплины, тыс. р.**

Table 4. **Volume of services provided by the industrial agri-service enterprise (Model 3): minimum, average, and optimal levels accounting for payment discipline, thousand rubles**

| Наименование услуг и видов деятельности | Объем оказываемых услуг (в среднем) | | |
|---|---|---|---|
| | Минимальный | Средний | Оптимальный |
| Ремонтные заводы и мастерские | 23 147,9 | 23 236,6 | 23 394,3 |
| в том числе | | | |
| производство | 23 000,0 | 23 000,0 | 23 000,0 |
| ремонт | 147,9 | 236,6 | 394,3 |
| Механизированные работы и услуги | 169,6 | 271,4 | 452,3 |
| Автотранспортные хозяйства | 186,3 | 298,2 | 496,9 |
| Линейно-монтажные участки по механизации животноводческих ферм | 161,1 | 257,8 | 429,6 |
| Техническое обслуживание оборудования животноводческих ферм | 385,2 | 616,3 | 1027,1 |
| Станция технического обслуживания автомобилей тракторов и машинно-тракторного парка | 71,2 | 113,9 | 189,8 |
| Мелиоративное обслуживание сельского хозяйства | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Сельскохозяйственное производство | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Льноперерабатывающее производство | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Прочие производства | 378,7 | 605,9 | 1 009,8 |
| Оптовая торговля | – | 697,8 | 1 163,0 |
| ВСЕГО | 24 500,0 | 25 400,0 | 27 000,0 |

Такая двойственная деятельность позволяет предприятию осуществлять диверсификацию финансовых рисков, связанных с низкой платежеспособностью и несвоевременностью расчетов со стороны сельскохозяйственных организаций. Надежный денежный поток от промышленного сектора, характеризующегося более высокой дисциплиной оплаты и устойчивым спросом, компенсирует нестабильность поступлений от сервисной деятельности. Однако, несмотря на улуч-

шенную финансовую устойчивость, объем оказываемых услуг сельхозпредприятиям остается ограниченным внешними факторами, в первую очередь – востребованностью и платежеспособностью клиентов. При этом существует потенциал для расширения сервисной деятельности, который в текущих условиях реализуется не в полной мере.

Таким образом, модель 3 демонстрирует интегрированный подход к управлению рисками, но и в ней наблюдается недозагрузка сервисного потенциала, обусловленная структурными особенностями аграрного сектора и низкой платежной дисциплиной его участников.

Все три модели сталкиваются с проблемой недоиспользования производственного потенциала, особенно в сфере оказания услуг, что обусловлено не столько отсутствием спроса, сколько низкой платежеспособностью и несвоевременностью расчетов со стороны сельхозорганизаций.

Диверсификация доходов (через промышленность или собственное производство) повышает финансовую устойчивость, но не устраняет полностью зависимость от внешних факторов.

Специализация на агросервисе (модель 1) позволяет эффективно использовать технику и персонал, но требует дополнительных механизмов обеспечения ликвидности (государственная поддержка, предоплаты, кредитование).

Интегрированные модели (2 и 3) более устойчивы, но рискуют потерять фокус на основной деятельности, если производственная составляющая начнет доминировать.

Для количественной оценки выявленных противоречий между финансовой устойчивостью и сохранением профильной специализации проведен сравнительный анализ экономических показателей трех рассмотренных моделей функционирования. Результаты расчета, учитывающие реальные лаги платежей и риски неплатежей со стороны сельскохозяйственных организаций, представлены в табл. 5.

Анализ данных, приведенных в ней, выявляет фундаментальное противоречие современного агросервиса. Модели 2 и 3 демонстрируют высокую финансовую устойчивость, рентабельность затрат на уровне 14–19 % и низкий риск кассовых разрывов. Однако эта устойчивость достигается ценой размывания основной деятельности: удельный вес профильных услуг в общей выручке падает до 6–15 %. Классическая сервисная модель (модель 1), сохраняя 100%-ю специализацию на услугах, оказывается в зоне критического финансового риска из-за низкой платежной дисциплины заказчиков, что выражается в высоких кассовых разрывах и отрицательных значениях доступных средств для развития на минимальном и среднем уровнях нагрузки. Таким образом, диверсификация в производство или собственное сельское хозяйство является для агросервисных предприятий вынужденной стратегией выживания, а не стратегией развития, так как она ведет к системному дефициту сервисных мощностей в регионе.

**Предложения по совершенствованию функционирования агросервисных структур.** В целях устранения выявленных экономических диспропорций, снижения развития негативных тенденций в сфере агросервиса и сохранения ею профильной специализации следует реализовать следующий комплекс мер.

Во-первых, необходимо внедрение целевых механизмов государственной финансовой поддержки, привязанных не только к общим показателям предприятия, но и к объемам оказанных сервисных услуг. Это может включать субсидирование части процентных ставок по кредитам на обновление парка техники при условии, что не менее 70 % выручки формируется за счет сервисной деятельности.

Во-вторых, требуется нормативное закрепление механизмов взаимной экономической ответственности. Целесообразно масштабировать практику включения в договоры на оказание услуг нормативных штрафов за просрочку платежей, исполнение которых гарантируется через механизмы межбюджетных расчетов или поручительства районных исполнительных комитетов, что снизит риск неплатежей.

В-третьих, необходимо стимулировать создание межрайонных механизированных отрядов на базе профильных агросервисных предприятий (постановление № 938), что позволит сохранить технологическую дисциплину и загрузить мощности именно в сфере оказания услуг, повысив их рентабельность за счет эффекта масштаба.

Таблица 5. **Экономическая эффективность агросервисных предприятий в разрезе моделей функционирования (при различных уровнях загрузки мощностей: минимальный, средний, оптимальный)**

Table 5. **Economic efficiency of agri-service enterprises by operating model (at different capacity utilization levels: minimum, average, optimal)**

| Показатель | Модель 1 | | | Модель 2 | | | Модель 3 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Минимальный | Средний | Оптимальный | Минимальный | Средний | Оптимальный | Минимальный | Средний | Оптимальный |
| Выручка, тыс. р. | 1 500 | 4 400 | 6 200 | 1 500 | 4 602,92 | 6 646,25 | 24 500 | 25 400 | 27 000 |
| Удельный вес услуг в выручке, тыс. р. | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 100,00 | 89,07 | 73,73 | 6,12 | 9,45 | 14,81 |
| Затраты на производство и реализацию, тыс. р. | 1 323,20 | 3 252,57 | 4 450,10 | 1 323,20 | 3 396,56 | 4 829,76 | 17 275,36 | 17 874,1 | 18 773,07 |
| НДС, тыс. р. | 250,00 | 733,33 | 1 033,33 | 250,00 | 721,43 | 948,96 | 4 083,33 | 4 233,33 | 4 500,00 |
| Прибыль от реализации, тыс. р. | –73,20 | 414,10 | 716,56 | –73,20 | 484,92 | 867,53 | 3 141,31 | 3 292,54 | 3 726,93 |
| Чистый доход (прибыль + амортизация), тыс. р. | 35,30 | 597,87 | 912,37 | 35,30 | 676,83 | 1 080,04 | 4 146,73 | 4 302,43 | 4 786,49 |
| Увеличение просроченной части дебиторской задолженности (10 %), тыс. р. | 150,00 | 440,00 | 620,00 | 150,00 | 460,29 | 664,63 | 150,00 | 240,00 | 400,00 |
| Увеличение дебиторской задолженности, тыс. руб. | 62,50 | 183,33 | 198,72 | 62,50 | 191,79 | 213,02 | 62,50 | 100,00 | 128,21 |
| Доступные средства для финансирования и развития, тыс. руб. | –177,20 | –25,46 | 93,65 | –177,20 | 24,75 | 202,39 | 3 934,23 | 3 962,43 | 4 258,28 |
| Рентабельность затрат, % | –5,53 | 12,73 | 16,10 | –5,53 | 14,28 | 17,96 | 18,18 | 18,42 | 19,85 |
| Рентабельность продаж, % | –4,88 | 9,41 | 11,56 | –4,88 | 10,54 | 13,05 | 12,82 | 12,96 | 13,80 |
| Финансовая устойчивость | Низкая | Средняя | Высокая | Низкая | Средняя | Высокая | Высокая | Высокая | Высокая |
| Кассовые разрывы | Высокие | Высокие | Высокие | Высокие | Высокие | Высокие | Низкие | Низкие | Низкие |
| Риск неплатежей | Критический | Средний | Низкий | Критический | Средний | Низкий | Низкий | Низкий | Низкий |
| Специализация на услугах | Высокая | Высокая | Высокая | Высокая | Высокая | Средняя | Низкая | Низкая | Низкая |
| Потенциал роста услуг | Высокий | Средний | Средний | Высокий | Высокий | Средний | Высокий | Высокий | Средний |

**Заключение.** Проведенное исследование эволюции и современного состояния агросервиса в агропромышленном комплексе позволяет сделать следующие выводы.

Агросервис остается безальтернативным условием технологической модернизации и ресурсосбережения в сельском хозяйстве. Однако практическая реализация сервисных функций сталкивается с системным кризисом, обусловленным низкой платежеспособностью и слабой платежной дисциплиной отдельных потребителей услуг. На эти вызовы агросервисные структуры вынужденно трансформируются, уходя из сферы услуг в сферу сельскохозяйственного или промышленного производства. Анализ деятельности предприятий Гродненской области и моделирование трех выявленных базовых схем функционирования подтверждают, что такое укрупнение и диверсификация, решая локальные финансовые проблемы отдельных предприятий, приводят к потере узкой технологической компетенции и дефициту сервисных мощностей. Механическое объединение агросервиса и сельскохозяйственного производства не решает системных проблем отрасли, а маскирует их.

Ключевой задачей на современном этапе является не дальнейшая трансформация агросервиса в аграрное предприятие, а разработка и внедрение действенных финансово-экономических и нормативных механизмов, повышающих платежеспособность сельскохозяйственных организаций и делающих классическую сервисную модель экономически жизнеспособной. В данной связи консолидация интересов сервисных и сельскохозяйственных структур через целевое государственное регулирование и взаимную экономическую ответственность способна обеспечить устойчивое развитие производственно-технического обслуживания АПК.

## Список используемых источников

1. Гусаков, В. Г. Реформа системы материально-технического снабжения и агросервиса: (рекомендации) / В. Г. Гусаков, Н. В. Самарина. – Мн.: БелНИИЭП АПК, 1993. – 44 с.

2. Гусаков, В. Г. Формирование рыночных организационно-экономических структур технического снабжения и сервиса в АПК / В. Г. Гусаков, Л. Н. Байгот, А. С. Сайганов. – Мн.: БелНИИЭИ АПК, 1996. – 37 с.

3. Концепция создания холдинга по машиностроению, техническому обслуживанию и обеспечению предприятий АПК «Белагромаштехсервис» / А. С. Сайганов, Н. А. Бычков, А. И. Крупич [и др.]. – Мн.: БелНИИАЭ, 2000. – 71 с.

4. Авдеева, Ю. А. Нормативно-экономический аспект управления адаптивным развитием сферы технического агросервиса АПК / Ю. А. Авдеева // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2012. – Т. 2, № 1 (65). – С. 212–217.

5. Каган, А. М. Методика формирования портфеля инновационных проектов в предприятиях агросервиса / А. М. Каган, А. А. Тимаев // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2010. – № 4. – С. 83–93.

6. Авдеева, Ю. А. Управление адаптационной деятельностью организаций в сфере технического агросервиса АПК / Ю. А. Авдеева // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2012. – Т. 3, № 1 (67). – С. 262–266.

7. Синюков, А. Система производственно-технического агросервиса Сибири / А. Синюков // Экономика сельского хозяйства России. – 2004. – № 5. – С. 6.

8. Синюков, А. Г. Совершенствование взаиморасчетов сельскохозяйственных товаропроизводителей с предприятиями производственно-технического агросервиса / А. Г. Синюков // Власть, бизнес и крестьянство: механизмы эффективного взаимодействия: Никоновские чтения – 2002 / Всерос. ин-т аграр. пробл. и информатики, Фонд поддержки аграр. реформы и сел. развития; отв. ред. А. В. Петриков. – М., 2002. – С. 170–171.

9. Агашина, Ю. Е. Методы прогнозирования предприятий агросервиса / Ю. Е. Агашина // Успехи современного естествознания. – 2006. – № 9. – С. 87.

10. Тищенко, Т. Пути совершенствования взаимоотношений предприятий агросервиса с потребителями / Т. Тищенко, О. Короленко // Организационно-правовые аспекты инновационного развития АПК: сб. науч. тр. / Бел. гос. с.-х. акад., Западнопомор. технол. ун-т в Щецине. – Горки; Щецин, 2015. – Вып. 12. – С. 313–315.

11. Казакова, Г. Я. Приоритетные направления развития системы ремонтно-технического и торгово-технического агросервиса / Г. Я. Казакова // Вестник Калмыцкого института гуманитарных исследований РАН. – 2013. – Т. 6, № 1. – С. 121–125.

12. Казакова, Г. Я. К вопросу о применении зарубежного опыта организации ремонтно-технического агросервиса и вторичного рынка сельскохозяйственной техники / Г. Я. Казакова // Вестник Института комплексных исследований аридных территорий. – 2009. – № 2 (19). – С. 30–34.

13. Климин, Д. Система агросервиса в Беларуси / Д. Климин // Организационно-правовые аспекты инновационного развития агробизнеса: сб. науч. тр. / Бел. гос. с.-х. акад., Западнопомор. технол. ун-т в Щецине. – Горки; Щецин, 2018. – Вып. 15. – С. 162–165.

14. Орипов, А. А. Развитие сферы технического агросервиса Таджикистана: состояние и пути совершенствования законодательной базы / А. А. Орипов // Вестник ТГУПБП. Серия общественных наук. – 2016. – № 3 (68). – С. 43–50.

15. Николайчик, И. А. Агросервис и производство сельскохозяйственной продукции в одном предприятии – целесообразность и перспектива / И. А. Николайчик, И. Ф. Янкович // Ученые записки учреждения образования «Витебская государственная академия ветеринарной медицины». – 2010. – Т. 46, вып. 1, ч. 2. – С. 46–50.

## References

1. Gusakov V. G., Samarina N. V. *Reform of the material and technical supply and agri-service systems*. Minsk, Belarusian Research Institute of Economic Problems of the Agro-Industrial Complex, 1993. 44 p. (in Russian).

2. Gusakov V. G., Baigot L. N., Saiganov A. S. *Formation of market organizational and economic structures of technical supply and service in Agro-Industrial Complex*. Minsk, Belarusian Research Institute of Economics and Information of the Agro-Industrial Complex, 1996. 37 p. (in Russian).

3. Saiganov A. S., Bychkov N. A., Krupich A. I., Prokhotskii A. V., Gorbatovskaya, O. N., Trotskaya N. M. *Concept of establishing the "Belagromashtekhservis" holding for agricultural machinery engineering, technical maintenance and support of agro-industrial enterprises*. Minsk, Belarusian Research Institute of Agrarian Economics, 2000. 71 p. (in Russian).

4. Avdeeva Yu. A. Regulatory and economic aspects of adaptive development in technical agroservice. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Vestnik of Saratov State Technical University*, 2012, vol. 2, no. 1 (65), pp. 212–217 (in Russian).

5. Kagan A. M., Tsimayeu A. A. Methodology of forming a portfolio of innovative projects at the agroservice enterprises. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Science of Belarus. Agrarian series*, 2010, no. 4, pp. 83–93 (in Russian).

6. Avdeeva Yu. A. Management of adaptation activities of organizations in the technical agri-service sector of the agro-industrial complex. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta = Bulletin of Saratov State Technical University*, 2012, vol. 3, no. 1 (67), pp. 262–266 (in Russian).

7. Sinyukov A. The production and technical agri-service system of Siberia. *Ekonomika sel'skogo khozyaistva Rossii = Economics of Agriculture of Russia*, 2004, no. 5, p. 6 (in Russian).

8. Sinyukov A. G. Improving settlements between agricultural producers and production-technical agri-service enterprises. *Vlast', biznes i krest'yanstvo: mekhanizmy effektivnogo vzaimodeistviya: Nikonovskie chteniya – 2002* [Government, business, and peasantry: mechanisms for effective interaction: Nikon readings – 2002]. Moscow, 2002, pp. 170–171 (in Russian).

9. Agashina Yu. E. Methods of forecasting agri-service enterprises. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya = Advances in Current Natural Sciences*, 2006, no. 9, p. 87 (in Russian).

10. Tishchenko T., Korolenko O. Ways of improving the interrelations of the enterprises of agroservice with the user. *Organizatsionno-pravovye aspekty innovatsionnogo razvitiya APK: sbornik nauchnykh trudov* [Organizational and legal aspects of innovative development of Agro-Industrial Complex: collection of scientific papers]. Gorki, Szczecin, 2015, iss. 12, pp. 313–315 (in Russian).

11. Kazakova G. Priority directions of the development of the system of repairing, trading and technical agroservice. *Vestnik Kalmytskogo instituta gumanitarnykh issledovanii RAN* [Bulletin of the Kalmyk Institute for Humanities of the Russian Academy of Sciences], 2013, vol. 6, no. 1, pp. 121–125 (in Russian).

12. Kazakova G. Ya. On the application of foreign experience in organizing repair and technical agri-service and the secondary market of agricultural machinery. *Vestnik Instituta kompleksnykh issledovanii aridnykh territorii* [Bulletin of the Institute for Integrated Research of Arid Territories], 2009, no. 2 (19), pp. 30–34 (in Russian).

13. Klimin D. Agroservice system in Belarus. *Organizatsionno-pravovye aspekty innovatsionnogo razvitiya agrobiznesa: sbornik nauchnykh trudov* [Organizational and Legal Aspects of Innovative Development of Agribusiness: collection of scientific papers]. Gorki, Szczecin, 2018, iss. 15, pp. 162–165 (in Russian).

14. Oripov A. A. Development of technical agroservice sphere of Tajikistan: the plight and ways of legislative base improvement. *Vestnik TGUPBP. Seriya obshchestvennykh nauk = Bulletin of TSULBP. Series of Social Sciences*, 2016, no. 3 (68), pp. 43–50 (in Russian).

15. Nikolaichik I. A., Yankovich I. F. Agri-service and agricultural production within one enterprise: feasibility and prospects. *Uchenye zapiski uchrezhdeniya obrazovaniya "Vitebskaya gosudarstvennaya akademiya veterinarnoi meditsiny" = Transactions of the educational establishment "Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine",* 2010, vol. 46, iss. 1, pt. 2, pp. 46–50 (in Russian).

## Информация об авторах

*Казакевич Петр Петрович* – член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, заместитель Председателя Президиума Национальной академии наук Беларуси, Президиум Национальной академии наук Беларуси (пр. Независимости, 66, 220072, Минск, Республика Беларусь). http://orcid.org/0000-0002-9102-2816. E-mail: oan2011@mail.ru

*Пилипук Андрей Владимирович* – член-корреспондент Национальной академии наук Беларуси, доктор экономических наук, профессор, директор Института системных исследований в АПК Национальной академии наук Беларуси (ул. Казинца, 103, 220108, Минск, Республика Беларусь). https://orcid.org/0000-0002-2770-939X. E-mail: pilipuk.andrei@gmail.com

*Артюшевский Николай Владимирович* – кандидат экономических наук, доцент, заведующий отделом экономического регулирования, Институт системных исследований в АПК Национальной академии наук Беларуси (ул. Казинца, 103, 220108, Минск, Республика Беларусь). E-mail: NVArt79@gmail.com

## Information about the authors

*Petr P. Kazakevich* – Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, Dr. Sc. (Engineering), Professor, Deputy Chairman of the Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus, Presidium of the National Academy of Sciences of Belarus (66, Nezavisimosti Ave., 220072, Minsk, Republic of Belarus). http://orcid.org/0000-0002-9102-2816. E-mail: oan2011@mail.ru

*Andrei V. Pilipuk* – Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, Dr. Sc. (Economics) Professor, Director of the Institute of System Researches in the Agro-Industrial Complex of the National Academy of Sciences of Belarus (103, Kazinets Str., 220108, Minsk, Republic of Belarus). https://orcid.org/0000-0002-2770-939X. E-mail: pilipuk.andrei@gmail.com

*Nikolay V. Artyushevskiy* – Ph. D. (Economics), Associate Professor, Head of Economic Regulation Department, Institute of System Researches in the Agro-Industrial Complex of the National Academy of Sciences of Belarus (103, Kazinets Str., 220108, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: NVArt79@gmail.com.

ISSN 1817-7204 (Print)
ISSN 1817-7239 (Online)
УДК 637.13.02
https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-4-331-341

Поступила в редакцию 17.03.2025
Received 17.03.2025

**Ю. В. Трофимов[1], С. И. Лишик[1], О. Л. Сороко[2], Е. В. Беспалова[2], А. Н. Полын[2], Д. В. Град[1], В. Е. Слепокуров[1], А. Е. Челяпин[1], А. И. Щитникова[1], Д. А. Асиненко[1], Н. А. Захарова[1]**

*[1]Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь*
*[2]Институт мясо-молочной промышленности, Национальная академия наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь*

# ЭФФЕКТИВНОСТЬ СВЕТОДИОДНОГО УЛЬТРАФИОЛЕТОВОГО ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ МОЛОКА

**Аннотация.** Разработана экспериментальная установка для светодиодного ультрафиолетового (УФ) обеззараживания молока-сырья в реакторе типа Куэтта – Тейлора. Представлены результаты моделирования распределения энергетической освещенности на внутренней поверхности кварцевой трубы в зависимости от расстояния между печатной платой с УФ-светодиодами и кварцевой трубой. Важным параметром системы УФ-обработки молока является время нахождения элементарных частиц молока в приповерхностном слое реактора. Для его оценки проводилось моделирование траекторий перемещения отдельных частиц молока с вычислением их радиус-вектора (глубины залегания) в цилиндрической системе координат УФ-реактора. В ходе исследований проведена серия экспериментов с целью изучения влияния скорости вращения ротора внутри реактора и интенсивности свечения УФ-светодиодов на эффективность обеззараживания молока. Анализ полученных результатов показывает, что скорость вращения ротора и мощность УФ-светодиодов оказывают существенное влияние на эффективность снижения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ). Выявлено, что при обеззараживании молока через установку при оптимальном режиме обработки содержание КМАФАнМ в образце коровьего молока уменьшилось в 21 раз, а количество бактерий группы кишечной палочки (БГКП) – в 16 раз, что соответствует требованиям, предъявляемым к молоку питьевому. Полученные результаты могут использоваться при проектировании энергоэффективных промышленных установок УФ-обеззараживания молока.

**Ключевые слова:** ультрафиолетовое излучение, светодиод, течение Куэтта – Тейлора, обеззараживание молока, пастеризация, микробиологические показатели

**Для цитирования:** Эффективность светодиодного ультрафиолетового обеззараживания молока / Ю. В. Трофимов, С. И. Лишик, О. Л. Сороко [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2026. – Т. 64, № 4. – С. 331–341. https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-4-331-341

**Yuri V. Trofimov[1], Sergey I. Lishik[1], Oleg L. Soroko[2], Ekaterina V. Bespalova[2], Angelina N. Polyn[2], Dmitry V. Grad[1], Vadim E. Slepokurov[1], Alexey E. Chelyapin[1], Anna I. Shchitnikova[1], Denis A. Asinenko[1], Nina A. Zakharova[1]**

*[1]Center for LED and Optoelectronic Technologies of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*
*[2]Institute of Meat and Dairy Industry, National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus*

## EFFICIENCY OF LED ULTRAVIOLET DISINFECTION OF MILK

**Abstract.** An experimental installation for LED ultraviolet (UV) disinfection of raw milk in a Couette – Taylor reactor has been developed. The results of modeling the distribution of irradiance on the inner surface of a quartz tube as a function of the distance between a printed circuit board with UV LEDs and a quartz tube are presented. An important parameter of the UV milk treatment system is the residence time of the elementary milk particles in the surface layer of the reactor. To evaluate it, the trajectories of individual milk particles were modeled and their radius vector (depth of immersion) was calculated in the cylindrical coordinate system of the UV reactor. In the course of the research, a series of experiments was conducted to study the effect of the rotor rotation speed inside the reactor and the intensity of the UV LEDs on the effectiveness of milk disinfection. An analysis of the results shows that both rotor speed and UV LED power have a strong effect on the effectiveness of reducing the number of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms (NMAFAnM). It was shown that when milk was disinfected using the installation under an optimal treatment regime, the content of NMAFAnM in a cow's milk sample decreased 21-fold, and the coliform bacteria (BECG) count decreased 16-fold, which meets the requirements for drinking milk. The results obtained can be used in the design of energy-efficient industrial installations for UV disinfection of milk.

**Keywords:** ultraviolet radiation, LED, Couette – Taylor flow, milk disinfection, pasteurization, microbiological indicators

**For citation:** Trofimov Yu. V., Lishik S. I., Soroko O. L., Bespalova E. V., Polyn A. N., Grad D. V., Slepokurov V. E., Chelyapin A. E., Shchitnikova A. I., Asinenko D. A., Zakharova Nina A. A. Efficiency of led ultraviolet disinfection of milk. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2026, vol. 64, no. 1, pp. 331–341 (in Russian). https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-4-331-341

**Введение.** Методы термической обработки являются неотъемлемой частью технологий при производстве молока и молочных продуктов. В настоящее время тепловая обработка молока применяется в первую очередь для инактивации патогенных микроорганизмов и ферментов, чтобы повысить стабильность продуктов во время хранения. Однако в последнее время за рубежом значительно вырос интерес к нетермическим процессам обработки молока, таким как импульсные электрические поля, высокое давление и ультрафиолетовое облучение, потому что они оказывают высокий бактерицидный эффект, сохраняя исходное качество сырья. В частности, во многих отраслях пищевой промышленности все больше повышается интерес к ультрафиолетовому (УФ) облучению как к более щадящей нетермической технологии [1, 2].

Наиболее эффективный бактерицидный эффект, способствующий уничтожению множества патогенных микроорганизмов (бактерии, грибки, плесень, дрожжи и вирусы), находится в диапазоне УФ-С (коротковолновое излучение с длиной волны 200–280 нм) [3–5]. При этом более выраженным бактерицидным действием обладает УФ-излучение в диапазоне длин волн 254…265 нм, которые поглощаются нуклеиновыми кислотами, белками и в первую очередь ДНК. Наибольшее разрушающее влияние на ДНК оказывает УФ при длине волны 253,7 нм [6]. Причинами гибели возбудителей являются летальные мутации, утрата молекулами ДНК способности к репликации, нарушение процесса транскрипции. УФ-излучение разрушает также токсины, например дифтерийный, столбнячный, дизентерийный, брюшного тифа, золотистого стафилококка [7].

Облучение коротковолновым УФ-излучением обладает отличными бактерицидными свойствами, способствующими уничтожению множества патогенных микроорганизмов, таких как бактерии, грибки, плесень, дрожжи и вирусы [8–13]. Эффективность УФ-обработки зависит от способности излучения проникать через клеточную стенку патогенных микроорганизмов, затем блокировать транскрипции и репликации ДНК за счет образования диммеров тимина, препятствующих росту и размножению клетки [14–18].

Традиционная пастеризация молока – процесс достаточно энергоемкий. В то же время за счет использования УФ-обработки молока данный показатель может быть уменьшен более чем в три раза. Таким образом, проведение исследований в области УФ-обработки молока является актуальной научно-технической задачей, которая может дать значительный экономический эффект. В Беларуси исследования по светодиодной УФ-обработке молока ранее не проводились.

**1. Экспериментальная УФ-установка для обеззараживания молока.** Установка состоит из каркаса, УФ-модулей и реактора, шагового двигателя для перемешивания молока и перистальтического насоса для подачи его в зону реактора, систем электрического питания и охлаждения УФ-модулей, блока управления и обработки информации и сопутствующего оборудования (рис. 1).

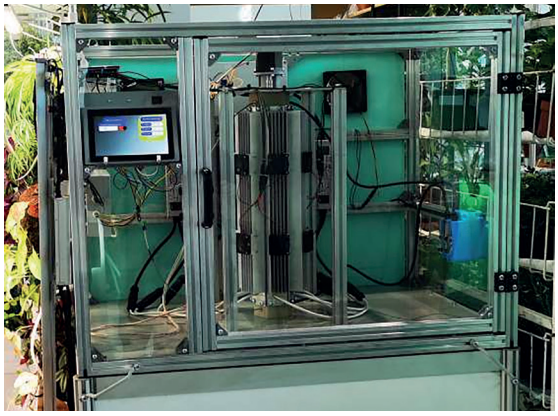


Рис. 1. Экспериментальная УФ-установка для обеззараживания молока

Fig. 1. Experimental UV milk disinfection installation

Реактор представляет собой вертикально ориентированную кварцевую трубу, герметично закрытую с торцов крышками. Внутри кварцевой трубы располагается ротор, приводимый во вращение шаговым двигателем, установленным на верхней крышке. В верхнюю и нижнюю крышки встроены входной и выходной штуцеры, сквозь которые через реактор протекает обрабатываемое молоко. Скорость потока молока регулируется в интервале 0–20 л/ч.

Технические параметры УФ-установки представлены в табл. 1.

Таблица 1. **Технические характеристики экспериментальной УФ-установки для обеззараживания молока**

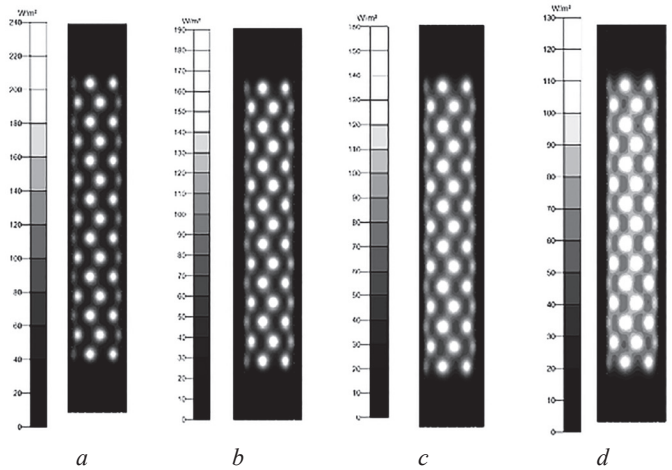
Table 1. **Technical characteristics of an experimental UV milk disinfection installation**

| Параметр | Значение параметра |
|---|---|
| Напряжение питания, В/Гц | 230/50 |
| Потребляемая мощность, Вт | <700 |
| Объем молока в УФ-реакторе, л | 0,25 |
| Пиковая длина волны УФ-излучения, нм | 278 |
| Габариты (Д × Ш × В) | 1 000 × 600 × 750 |
| Масса, кг | 30 |

Блок управления и обработки информации состоит из контроллера, датчиков температуры молока на входе и выходе из реактора, шагового двигателя с источником питания, регулятора мощности (диммера) УФ-светодиодов. Управление шаговым двигателем, диммирование УФ-светодиодов, мониторинг температур светодиодов и обрабатываемого молока, а также отображение этой информации осуществляется посредством сенсорной панели управления на основе 7-дюймового ЖК-дисплея.

Для функционирования экспериментальной УФ-установки очень важно обеспечить интенсивную и равномерную засветку обрабатываемого молока. На рис. 2 представлены результаты моделирования распределения энергетической освещенности на внутренней поверхности кварцевой трубы в зависимости от расстояния между печатной платой с УФ-светодиодами и кварцевой трубой.

Оптическое моделирование выполнялось с использованием специализированного ПО TracePro. Из анализа полученных данных (см. рис. 2) следует, что при приближении УФ-светодиодов к кварцевой трубе энергетическая освещенность на внутренней поверхности кварцевой трубы возрастает со 130 до 240 Вт/м$^2$, но при этом также ухудшается равномерность освещенности. Анализ обоих этих параметров позволяет определить оптимальное расстояние между печатной платой с УФ-светодиодами и кварцевой трубой. Дополнительно для увеличения интенсивности и равномерности освещения кварцевой трубы использовались рефлекторы, устанавливаемые над светодиодными платами.



*a* *b* *c* *d*

Рис. 2. Распределение энергетической освещенности на внутренней поверхности облучаемой кварцевой трубы (развертка половины трубы) на расстоянии 6 мм (*a*), 8 мм (*b*), 10 мм (*c*), 12 мм (*d*)

Fig. 2. Distribution of irradiance on the inner surface of the irradiated quartz tube (unrolled view of half of the tube) at a distance of 6 mm (*a*), 8 mm (*b*), 10 mm (*c*), 12 mm (*d*)

Следует отметить, что молоко является практически непрозрачной средой для УФ-С-излучения, в частности слой молока толщиной всего 100 мкм поглощает около 85 % проходящего через него УФ-излучения [19]. Таким образом, УФ-обработка молока, равно как и других непрозрачных сред, является достаточно сложной научно-технической задачей. Для ее решения внутри реактора формировалось так называемое течение Куэтта – Тейлора, возникающее в общем случае между двумя вращающимися с разными скоростями соосными цилиндрами. При этом при определенной скорости вращения в жидкости возникают правильно чередующиеся вихри в виде торов с правым и левым вращением.

Для оценки стабильности профиля потока жидкости между двумя вращающимися цилиндрами используется число Тейлора:

$$\mathrm{Ta} = \frac{\omega^2 R_1 (R_2 - R_1)^3}{\nu^2}, \tag{1}$$

где Ta – число Тейлора; ω – угловая скорость вращения ротора; $R_1$, $R_2$ – радиус ротора и внутренний радиус кварцевой трубы соответственно; ν – кинематическая вязкость (ν = μ /ρ; μ – динамическая вязкость, ρ – плотность молока).

Динамическая вязкость и плотность молока зависят от температуры ($T$) и жирности ($F$) молока [11]:

$$\ln(\omega) = 2721{,}5 / T + 0{,}1F - 8{,}9, \tag{2}$$

$$\rho = 0{,}3T - 0{,}03T^3 - 0{,}7F - 0{,}01F^2 + 1034{,}5. \tag{3}$$

Течение Куэтта – Тейлора образуется при значении числа Тейлора $\mathrm{Ta} > \mathrm{Ta_k} = 1\,700$, что соответствует критической угловой скорости вращения $\omega_k$:

$$\omega_k = \sqrt{\frac{\mathrm{Ta_k}\nu^2}{R_1(R_2 - R_1)^3}}. \tag{4}$$

Таким образом, при $T = 313$ К, $R_1 = 32{,}15$ мм, $R_2 = 35,\ 15$ мм и $\nu(T) = \mu(T) / \rho(T) = 0{,}0014/1021{,}83$ критическая скорость вращения ротора составляет $\omega_k \approx 60$ об/мин.

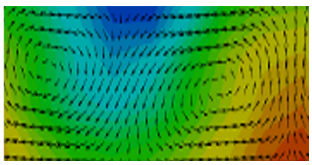
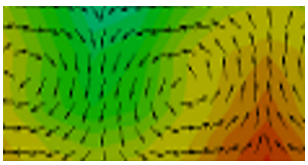
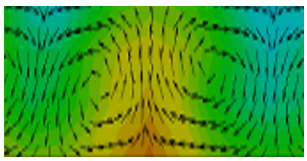
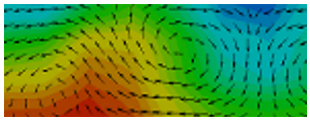
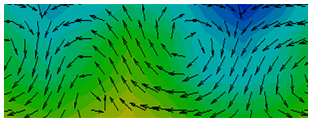
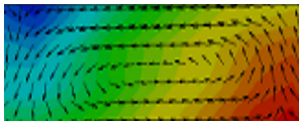
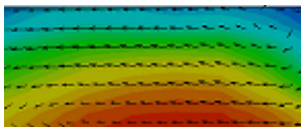
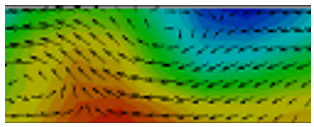
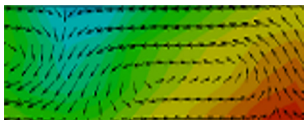
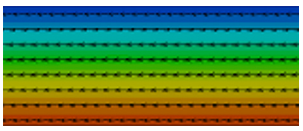
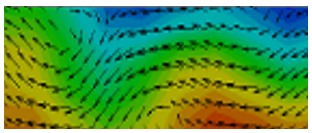
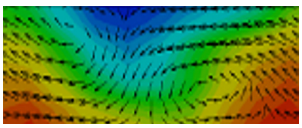
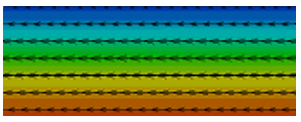
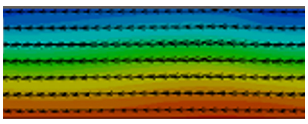
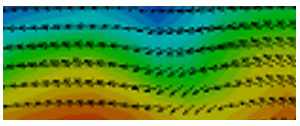
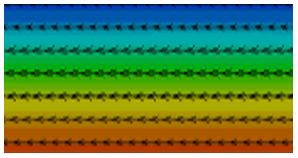
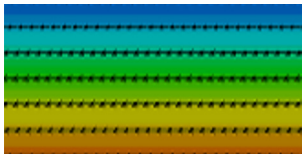
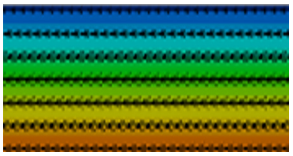
Следует отметить, что формула (4) не применима для проточной системы. При наличии входящего потока вихри Тейлора не являются устойчивыми и могут разрушаться. Для получения более точного представления о гидродинамике процесса необходимо проведение численного моделирования.

В табл. 2 представлены результаты гидродинамического моделирования с использованием ПО SolidWorks. Из анализа полученных результатов следует, что при фиксированном значении потока молока увеличение скорости вращения ротора приводит вначале к появлению вихрей Тейлора с четко выраженной доменной структурой, а затем – к более хаотичному и турбулентному течению. С другой стороны, при фиксированной скорости вращения ротора увеличение потока молока приводит вначале к разрушению доменной структуры течения Тейлора и образованию проточного течения между доменами, а затем – к полностью ламинарному течению молока внутри реактора. При этом часть молока протекает вдали от облучаемой поверхности и, следовательно, не подвергается УФ-обработке. Для практического использования метода светодиодного УФ-обеззараживания молока важным является обеспечение высокой производительности обработки молочного сырья.

На рис. 3 представлены фотографии вихрей Тейлора в реакторе, заполненном тестовой жидкостью при различных скоростях вращения ротора. В качестве тестовой жидкости использовался раствор дистиллированной воды и глицерина, имитирующий по вязкости молоко. Для визуализации течения в тестовую жидкость добавлялся порошок слюды красного цвета. Из рис. 3, *a* видно, что при низкой скорости вращения ротора в тестовой жидкости наблюдается тороидальная структура, соответствующая доменам течения Тейлора. Анализ рис. 3, *a* позволяет определить средний размер доменов – около 5 мм, что коррелирует с результатами гидродинамического моделирования (см. табл. 2). При увеличении скорости вращения ротора торы становятся волнистыми (рис. 3, *b*), т. е. структура течения Тейлора разрушается.

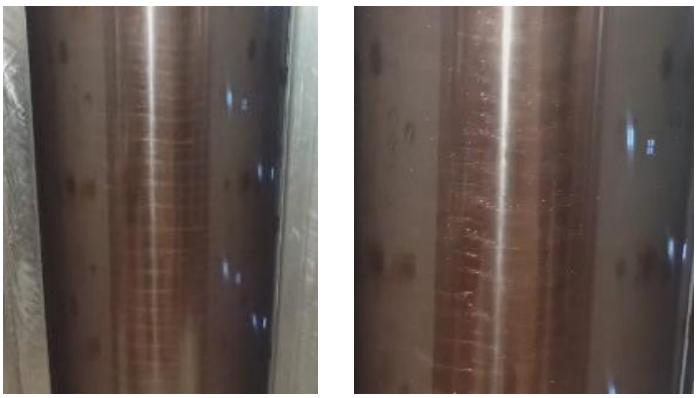
Таблица 2. **Паттерны течения Куэтта – Тейлора в зависимости от скорости вращения ротора и потока молока через УФ-реактор***

Table 2. **Couette-Taylor flow patterns depending on the speed of rotation of the rotor and the flow of milk through the UV reactor***

| Поток молока *Q*, л/ч | Скорость вращения ротора ω, об/мин | | |
|---|---|---|---|
| | 90 | 120 | 140 |
| 4 |  |  |  |
| 10 |  |  |  |
| 20 |  |  |  |
| 30 |  |  |  |
| 50 |  |  |  |
| 100 |  |  |  |

* Стрелками показано направление продольной, а цветом – тангенциальной составляющей вектора скорости течения молока. Красный цвет соответствует направлению движения к наблюдателю, а синий – от наблюдателя.

* The arrows indicate the direction of the longitudinal component of the milk flow velocity vector, while the color indicates its tangential component. The red color corresponds to the direction of movement towards the observer, and the blue color corresponds to the direction of movement away from the observer.



*a* *b*

Рис. 3. Фотографии вихрей Тейлора, возникающих внутри УФ-реактора при скорости вращения ротора 100 об/мин (*a*) и 140 об/мин (*b*)

Fig. 3. Photographs of Taylor vortices generated inside a UV reactor at rotor speeds of 100 rpm (*a*) and 140 rpm (*b*)

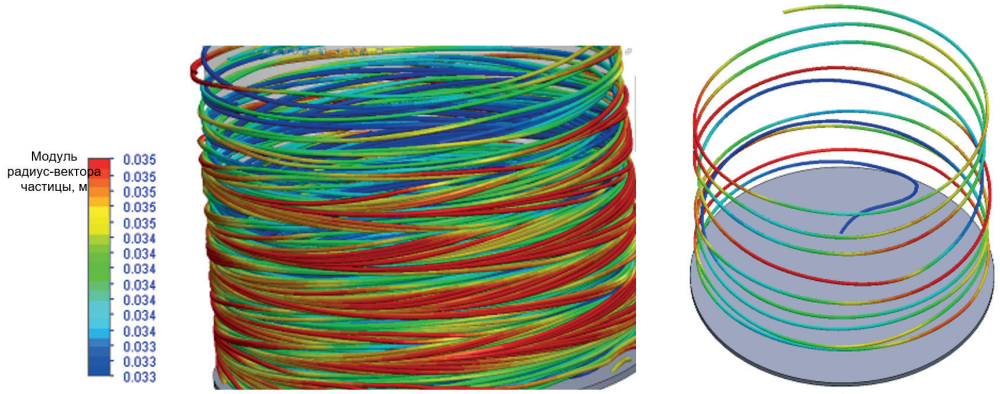



Рис. 4. Типичные траектории движения группы из 20 частиц (*a*) и 1 частицы (*b*) молока в УФ-реакторе

Fig. 4. Typical trajectories of a group of 20 milk particles (*a*) and single particle (*b*) in a UV reactor

Важным параметром системы УФ-обработки молока является время нахождения элементарных микрообъемов (далее – частиц) молока в приповерхностном слое реактора. Для его оценки проводилось моделирование траекторий перемещения отдельных частиц молока с вычислением их радиус-вектора (глубины залегания) в цилиндрической системе координат УФ-реактора. Результаты моделирования представлены на рис. 4.

Как видно из рис. 4, частицы молока перемещаются по сложным траекториям с плавно изменяющейся глубиной залегания. В процессе движения частицы молока многократно поднимаются в приповерхностный слой, перемешаются вдоль него на 1/3–1/2 витка спирали, после чего вновь уходят на глубину. Исходя из полученных данных (рис. 4, *b*), длины и радиуса кварцевой трубы, можно оценить среднее время нахождения частиц молока в приповерхностном слое – около 2 с (при скорости вращения ротора 110 об/мин и температуре молока 45 °С).

Таким образом, разработанная экспериментальная установка УФ-обеззараживания обеспечивает равномерное перемешивание молока, причем частицы молока, двигаясь по вихреобразным траекториям, проходят вдоль приповерхностного слоя, где и подвергаются УФ-обработке.

**2. Исследование микробиологической эффективности экспериментальной УФ-установки для обеззараживания молочного сырья.** Определение физико-химических показателей объектов исследований осуществлялось в лабораторных условиях РУП «Институт мясо-молочной промышленности», при этом использованы стандартные и специальные методы анализа. Статистическая обработка данных осуществлялась с использованием компьютерных программных приложений Excel.

Согласно СТБ 1598-2006[1], молоко коровье сырое подразделяется на сорта: первый, высший и экстра. По микробиологическим показателям и количеству соматических клеток молоко должно соответствовать требованиям, указанным в табл. 3.

Таблица 3. **Микробиологические показатели молока-сырья**

Table 3. **Microbiological parameters of raw milk**

| Наименование показателя | Норма для молока сорта | | |
|---|---|---|---|
| | экстра | высший | первый |
| Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), КОЕ/см$^3$, не более | $1 \cdot 10^5$ | $3 \cdot 10^5$ | $5 \cdot 10^5$ |
| Общее количество микроорганизмов (бактериальная обсемененность методом пробы на редуктазу), КОЕ/см$^3$, не более | Не допускается | $3 \cdot 10^5$ | $5 \cdot 10^5$ |
| Количество соматических клеток в 1 см$^3$, не более | $3 \cdot 10^5$ | $4 \cdot 10^5$ | $5 \cdot 10^5$ |
| Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы в 25 см$^3$ | Не допускается | | |

[1] Технические условия = Малако каровіна сырое. Тэхнічныя ўмовы: СТБ 1598-2006. Взамен на территории РБ ГОСТ 13264-88; введ. 01.08.2006. Мн.: Госстандарт, 2015. 13 с.

Для исследования работоспособности и эффективности экспериментального образца светодиодного УФ-реактора было отобрано коровье сырое молоко высшего сорта с массовой долей жира 3,8 %. Скорость вращения ротора внутри реактора составляла 100 об/мин, мощность УФ-светодиодов – 100 %. Следует отметить, что во всех нижеописанных микробиологических экспериментах скорость молока, протекающего через УФ-реактор, составляла 20 л/ч. После каждого прогона через светодиодный УФ-реактор обеззараженное молоко собиралось в стерильную тару, чтобы не допустить смешивание с молоком, которое еще не прошло обработку.

Микробиологические показатели КМАФАнМ (количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов) и БГКП (бактерии группы кишечной палочки) молока-сырья и обеззараженного молока приведены в табл. 4.

Таблица 4. **Микробиологические показатели (КМАФАнМ, БГКП) коровьего молока-сырья и обеззараженного молока высшего сорта с массовой долей жира 3,8 %**

Table 4. **Microbiological indicators (NMAFAnM, BECG) of raw cow's milk and disinfected milk of the highest grade with a mass fraction of 3.8 % fat**

| Показатель | Количество прогонов через светодиодный УФ-реактор | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Молоко-сырье | 1 прогон | 3 прогона | 5 прогонов | 7 прогонов |
| КМАФАнМ, КОЕ/см$^3$ | $2{,}6 \cdot 10^5$ | $1{,}3 \cdot 10^3$ | $5{,}6 \cdot 10^2$ | $4{,}9 \cdot 10^2$ | $4{,}5 \cdot 10^2$ |
| БГКП, КОЕ/см$^3$ | $1{,}6 \cdot 10^2$ | <10 | <10 | <10 | <10 |

Графики изменений микробиологических показателей представлены на рис. 5.

На основании микробиологических показателей можно сделать вывод, что после 5-го прогона через светодиодный УФ-реактор содержание мезофильных аэробных и анаэробных микроорганизмов в образце молока уменьшилось в 200 раз (с $2{,}6 \cdot 10^5$ до $1{,}3 \cdot 10^3$ КОЕ/см$^3$), что соответствует требованиям, предъявляемым к молоку питьевому. Содержание БГКП после 5-го прогона через светодиодный УФ-реактор уменьшилось более чем в 16 раз по сравнению с исходным образцом молока-сырья (с $1{,}6 \cdot 10^2$ до < 10 КОЕ/см$^3$).

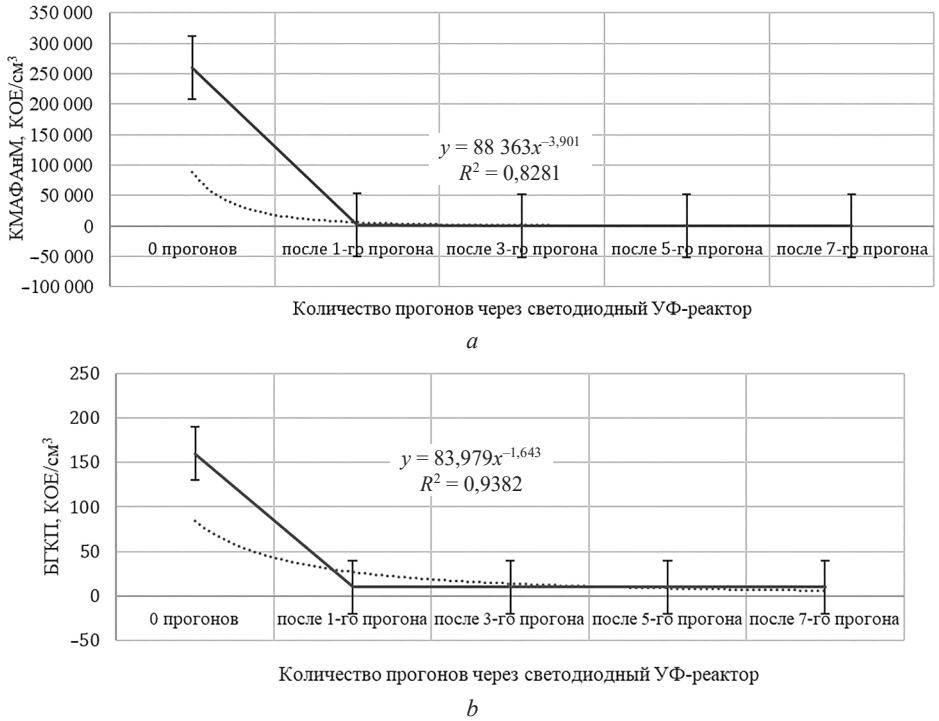
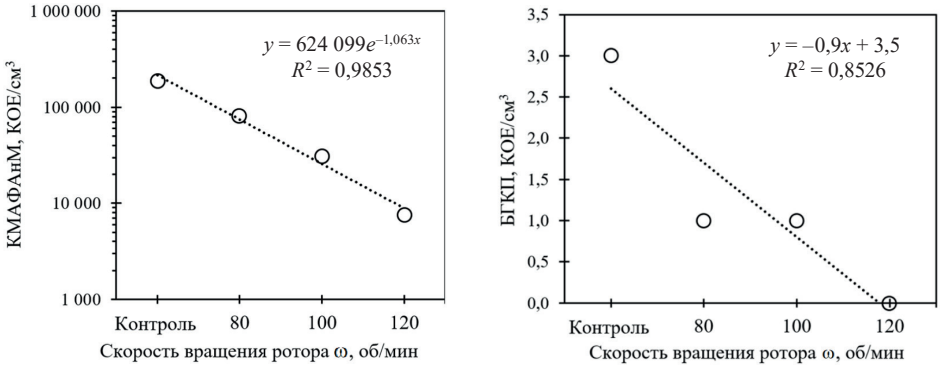



Рис. 5. Изменение микробиологических показателей КМАФАнМ (*a*) и БГКП (*b*) молока-сырья высшего сорта с массовой долей жира 3,8 % в зависимости от количества прогонов через экспериментальную УФ-установку ($\omega$ = 100 об/мин, $I_{LED}$ = 100 %)

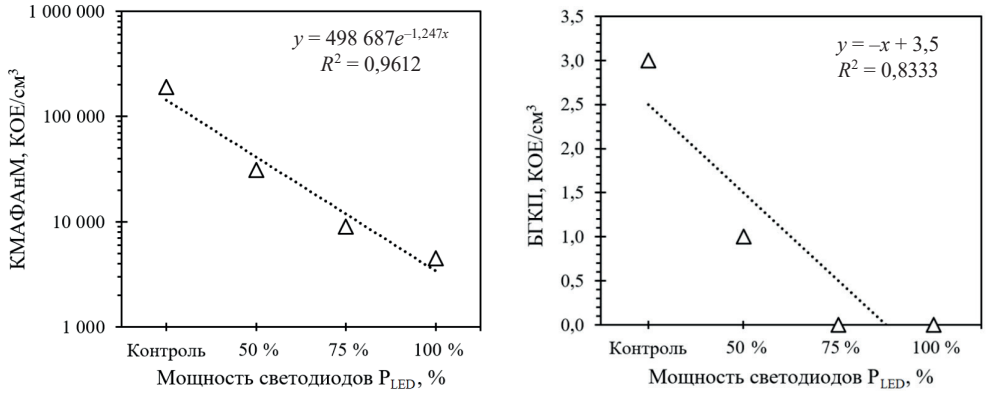
Fig. 5. Change in microbiological parameters of NMAFAnM (*a*) and BECG (*b*) premium-grade raw milk with a mass fraction of 3.8 % fat, depending on the number of runs through the experimental UV installation ($\omega$ = 100 rpm, $I_{LED}$ = 100 %)




*a* *b*

Рис. 6. Зависимости количества КМАФАнМ (*a*) и БГКП (*b*) молока-сырья с массовой долей жира 3,8 % от скорости вращения ротора ω при $P_{LED}$ = 50 %

Fig. 6. Effect of rotor speed ω on NMAFAnM (a) and BECG (b) raw milk with a mass fraction of 3.8 % fat ($P_{LED}$ = 50 %)




*a* *b*

Рис. 7. Зависимости количества КМАФАнМ (*a*) и БГКП (*b*) молока-сырья с массовой долей жира 3,8 % от мощности светодиодов $P_{LED}$ при скоростях вращения ротора ω = 100 об/мин

Fig. 7. Effect of UV LED power on NMAFAnM (*a*) and BECG (*b*) raw milk with a mass fraction of 3.8 % fat ($P_{LED}$ at rotor speeds of ω = 100 rpm)

В ходе исследований проведена серия экспериментов с целью изучения влияния скорости вращения ротора внутри реактора и интенсивности свечения УФ-светодиодов на эффективность обеззараживания молока. Исследования проводились при трех скоростях вращения ротора: 80, 100 и 120 об/мин. На каждой из указанных скоростей были проведены отдельные опыты с использованием трех уровней мощности светодиодов: 50, 75 и 100 %.

Для исследований отобраны образцы сырого коровьего молока высшего сорта с массовой долей жира 3,8 %. Для усреднения данных эксперименты повторялись по 5 раз. После каждого прогона через светодиодный УФ-реактор обеззараженное молоко собиралось в стерильную тару, чтобы не допустить смешивания с необработанным молоком. Графики изменения микробиологических показателей (КМАФАнМ, БГКП) молока-сырья и образцов обеззараженного молока представлены на рис. 6 и 7.

Анализ полученных результатов показывает, что скорость вращения ротора и мощность УФ-светодиодов оказывают сильное влияние на эффективность снижения количества КМАФАнМ. Так, количество КМАФАнМ при мощности светодиодов 50 % и скорости вращения ротора 80 об/мин снизилось в 2,3 раза (до 82 000 КОЕ/см$^3$), при 100 об/мин – в 6,1 раза (до 31 000 КОЕ/см$^3$), при 120 об/мин – в 25 раз (до 7 600 КОЕ/см$^3$) по сравнению с молоком-сырьем (рис. 6, *a*). После всех режимов обработки количество КМАФАнМ соответствовало требованию, предъявляемому к молоку питьевому. При скорости вращения ротора реактора 100 об/мин количество КМАФАнМ по сравнению с молоком-сырьем уменьшается в 6, 21

и 42 раза при мощности светодиодов 50, 75 и 100 % соответственно (рис. 7, *a*). Оценка полученных графиков (рис. 6, *b* и 7, *b*) свидетельствует о том, что увеличение скорости вращения ротора в реакторе и мощности УФ-светодиодов не оказывает существенного влияния на количество БГКП. При воздействии ультрафиолетового излучения количество БГКП понижается до допустимого при всех выбранных параметрах.

Таким образом, чем выше скорость вращения ротора в реакторе и мощность УФ-светодиодов, тем ниже уровень бактериальной обсемененности (КМАФАнМ) обработанного молока. При этом для данного варианта исполнения экспериментальной установки при выбранном молоке-сырье высшего сорта с массовой долей жира 3,8 % оптимальным является режим со скоростью вращения ротора 100 об/мин и мощностью светодиодов 75 %. Он обеспечивает высокую эффективность обеззараживания и экономическую целесообразность, позволяя повысить сортность молока до сорта экстра. Дальнейшее повышение мощности светодиодов экономически неоправданно, так как приводит к росту потребления электроэнергии, а увеличение числа оборотов – к ускоренному износу деталей установки, их частому обслуживанию и замене. Конструкция экспериментальной светодиодной УФ-установки позволяет провести оптимальный подбор режимов обработки любого молока-сырья.

**Выводы.** Разработана экспериментальная установка для светодиодного УФ-обеззараживания молока-сырья в реакторе типа Куэтта – Тейлора. Дана оценка среднего времени нахождения частиц молока в приповерхностном 100-мкм слое УФ-реактора. Исследовано влияние светодиодной УФ-обработки молочного сырья на микробиологическую обсемененность при разных режимах облучения и скорости вращения ротора. Подобраны оптимальные режимы процесса. Показано, что при обеззараживании молока через установку при оптимальном режиме обработки КМАФАнМ в образце коровьего молока уменьшилось в 21 раз, а БГКП – в 16 раз, что соответствует требованиям, предъявляемым к молоку питьевому по содержанию бактерий группы кишечной палочки. Полученные результаты планируется использовать при проектировании энергоэффективных промышленных установок обеззараживания молока.

## Список использованных источников

1. UV irradiation as a comparable method to thermal treatment for producing high quality stabilized milk whey / S. Buhler, A. Gasparini, R. Montanari [et al.] // LWT – Food Science and Technology. – 2019. – Vol. 105. – P. 127–134. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.01.051

2. Мяленко, Д. М. Разработка и совершенствование технологии обеззараживания упаковки ультрафиолетовым облучением / Д. М. Мяленко, О. Б. Федотова // Идеи академика Владимира Дмитриевича Харитонова в наукоемких технологиях переработки молока / Всерос. науч.-исслед. ин-т молоч. пром-сти; под общ. ред. А. Г. Галстяна. – М., 2021. – С. 207–226.

3. Efficacy of ultraviolet (UV-C) light in reducing foodborne pathogens and model viruses in skim milk / D. M. Gunter-Ward, A. Patras, M. Bhullar [et al.] // Journal of Food Processing and Preservation. – 2018. – Vol. 42, № 2. – Art. e13485. https://doi.org/10.1111/jfpp.13485

4. Inactivation and potential reactivation of pathogenic *Escherichia coli* O157:H7 in bovine milk exposed to three monochromatic ultraviolet UVC lights / F. Yin, Y. Zhu, T. Koutchma, J. Gong // Food Microbiology. – 2015. – Vol. 49. – P. 74–81. https://doi.org/10.1016/j.fm.2015.01.014

5. UV-C treatment on the safety of skim milk: effect on microbial inactivation and cytotoxicity evaluation / D. M. Ward, A. Patras, A. Kilonzo-Nthenge [et al.] // Journal of Food Process Engineering. – 2019. – Vol. 42, № 4. – Art. e12944. https://doi.org/10.1111/jfpe.12944

6. Ихлов, Б. Л. Спектры ДНК. Обзор / Б. Л. Ихлов // Вестник новых медицинских технологий. – 2018. – Т. 25, № 2. – С. 121–134. https://doi.org/10.24411/1609-2163-2018-16001

7. Recent insights in the impact of emerging technologies on lactic acid bacteria: a review / K. Peng, M. Koubaa, O. Bals, E. Vorobiev // Food Research International. – 2020. – Vol. 137. – Art. 109544. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109544

8. Bakshi, A. S. Effect of fat content and temperature on viscosity in relation to pumping requirements of fluid milk products / A. S. Bakshi, D. E. Smith // Journal of Dairy Science. – 1984. – Vol. 67, № 6. – P. 1157–1160. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(84)81417-4

9. Bactericidal effect of ultraviolet C light-emitting diodes: optimization of efficacy toward foodborne pathogens in water / S.-K. Park, D.-M. Jo, M.-G. Kang [et al.] // Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology. – 2021. – Vol. 222. – Art. 112277. https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2021.112277

10. Bactericidal effects of 310 nm ultraviolet light-emitting diode irradiation on oral bacteria / A. Takada, K. Matsushita, S. Horioka [et al.] // BMC Oral Health. –2017. – Vol. 17. – Art. 96. https://doi.org/10.1186/s12903-017-0382-5

11. Effects of ultraviolet irradiation equipment on endodontic disease–related bacteria / A. Haraguchi, Y. Shinichiro, M. Takeshita [et al.] // Lasers in Dental Science. – 2022. – Vol. 6, № 1. – P. 31–40. https://doi.org/10.1007/s41547-021-00145-8

12. Kim, D. Effect of surface characteristics on the bactericidal efficacy of UVC LEDs / D. Kim, D.-H. Kang // Food Control. – 2020. – Vol. 108. – Art. 106869. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106869

13. Yolmeh, M. Evaluate the effects of ultraviolet radiation on the growth of Escherichia coli and Bacillus cereus isolated from raw milk and raw rice / M. Yolmeh, M. B. Habibi Najafi, M. Najafzadeh // Iranian Food Science and Technology Research Journal. – 2015. – Vol. 11, № 4. – P. 319–324. https://doi.org/10.22067/ifstrj.v1394i11.37989

14. Srimagal, A. Effect of light emitting diode treatment on inactivation of *Escherichia coli* in milk / A. Srimagal, T. Ramesh, J. K. Sahu // LWT – Food Science and Technology. – 2016. – Vol. 71. – P. 378–385. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.028

15. Microbial inactivation and cytotoxicity evaluation of UV irradiated coconut water in a novel continuous flow spiral reactor / M. S. Bhullar, A. Patras, A. Kilanzo-Nthenge [et al.] // Food Research International. – 2018. – Vol. 103. – P. 59–67. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.004

16. Use of UV-C radiation as a non-thermal process for liquid egg products (LEP) / S. Unluturk, M. R. Atılgan, A. H. Baysal, C. Tarı // Journal of Food Engineering. – 2008. – Vol. 85, № 4. – P. 561–568. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.08.017

17. Wadsworth, J. Perchlorates on Mars enhance the bacteriocidal effects of UV light / J. Wadsworth, C. S. Cockell // Scientific Reports. – 2017. – Vol. 7. – Art. 4662. https://doi.org/10.1038/s41598-017-04910-3

18. Effects of UV radiation on aquatic ecosystems and interactions with other environmental factors / D. P. Häder, C. E. Williamson, S. Å. Wängberg [et al.] // Photochemical & Photobiological Sciences. – 2015. – Vol. 14, № 1. – P. 108–126. https://doi.org/10.1039/c4pp90035a

19. Влияние светодиодного ультрафиолетового излучения на обеззараживание молока / Ю. В. Трофимов, С. И. Лишик, О. Л. Сороко [и др.] // Наука, питание и здоровье: сб. науч. тр. / НАН Беларуси, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по продовольствию; под общ. ред. З. В. Ловкиса. – Мн., 2024. – С. 381–386.

## References

1. Buhler S., Gasparini A., Montanari R., Montanari R., Sforza S., Tedeschi T. UV irradiation as a comparable method to thermal treatment for producing high quality stabilized milk whey. *LWT – Food Science and Technology*, 2019, vol. 105, pp. 127–134. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.01.051

2. Myalenko D. M., Fedotova O. B. Development and improvement of technology for disinfection of packaging by ultraviolet irradiation. *Ideas of academician Vladimir Dmitrievich Kharitonov in high-tech technologies of milk processing*. Moscow, 2021, pp. 207–226 (in Russian).

3. Gunter-Ward D. M., Patras A., Bhullar M. S., Kilonzo-Nthenge A., Pokharel B., Sasges M. Efficacy of ultraviolet (UV-C) light in reducing foodborne pathogens and model viruses in skim milk. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2018, vol. 42, no. 2, art. e13485. https://doi.org/10.1111/jfpp.13485

4. Yin F., Zhu Y., Koutchma T., Gong J. Inactivation and potential reactivation of pathogenic *Escherichia coli* O157:H7 in bovine milk exposed to three monochromatic ultraviolet UVC lights. *Food Microbiology*, 2015, vol. 49, pp. 74–81. https://doi.org/10.1016/j.fm.2015.01.014

5. Ward D. M., Patras A., Kilonzo-Nthenge A., Sudheer K. Y., Pan C., Xiao H., Sasges M. R. UV-C treatment on the safety of skim milk: effect on microbial inactivation and cytotoxicity evaluation. *Journal of Food Process Engineering*, 2019, vol. 42, no. 4, art. e12944. https://doi.org/10.1111/jfpe.12944

6. Ikhlov B. L. Spectra of DNAa. Review. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii = Journal of New Medical Technologies*, 2018, vol. 25, no. 2, pp. 121–134 (in Russian). https://doi.org/10.24411/1609-2163-2018-16001

7. Peng K., Koubaa M., Bals O., Vorobiev E. Recent insights in the impact of emerging technologies on lactic acid bacteria: a review. *Food Research International*, 2020, vol. 137, art. 109544. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109544

8. Bakshi A. S., Smith D. E. Effect of fat content and temperature on viscosity in relation to pumping requirements of fluid milk products. *Journal of Dairy Science*, 1984, vol. 67, no. 6, pp. 1157–1160. https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(84)81417-4

9. Park S.-K., Jo D.-M., Kang M.-G., Khan F., Hong S. D., Kim C. Y., Kim Y.-M., Ryu U.-C. Bactericidal effect of ultraviolet C light-emitting diodes: optimization of efficacy toward foodborne pathogens in water. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 2021, vol. 222, art. 112277. https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2021.112277

10. Takada A., Matsushita K., Horioka S., Furuichi Y., Sumi Y. Bactericidal effects of 310 nm ultraviolet light-emitting diode irradiation on oral bacteria. *BMC Oral Health*, 2017, vol. 17, art. 96. https://doi.org/10.1186/s12903-017-0382-5

11. Haraguchi A., Yoshida S., Takeshita M., Sumi Y., Mitarai H., Yuda A., Wada H., Nishimura F., Maeda H., Wada N. Effects of ultraviolet irradiation equipment on endodontic disease–related bacteria. *Lasers in Dental Science*, 2022, vol. 6, no. 1, pp. 31–40. https://doi.org/10.1007/s41547-021-00145-8

12. Kim D., Kang D.-H. Effect of surface characteristics on the bactericidal efficacy of UVC LEDs. *Food Control*, 2020, vol. 108, art. 106869. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106869

13. Yolmeh M., Habibi Najafi M. B., Najafzadeh M. Evaluate the effects of ultraviolet radiation on the growth of Escherichia coli and Bacillus cereus isolated from raw milk and raw rice. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 2015, vol. 11, no. 4, pp. 319–324. https://doi.org/10.22067/ifstrj.v1394i11.37989

14. Srimagal A., Ramesh T., Sahu J. K. Effect of light emitting diode treatment on inactivation of *Escherichia coli* in milk. *LWT – Food Science and Technology*, 2016, vol. 71, pp. 378–385. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.04.028

15. Bhullar M. S., Patras A., Kilanzo-Nthenge A., Pokharel B., Yannam S. K., Rakariyatham K., Pan C., Xiao H., Sasges M. Microbial inactivation and cytotoxicity evaluation of UV irradiated coconut water in a novel continuous flow spiral reactor. *Food Research International*, 2018, vol. 103, pp. 59–67. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.10.004

16. Unluturk S., Atılgan M. R., Baysal A. H., Tarı C. Use of UV-C radiation as a non-thermal process for liquid egg products (LEP). *Journal of Food Engineering*, 2008, vol. 85, no. 4, pp. 561–568. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.08.017

17. Wadsworth J., Cockell C. S. Perchlorates on Mars enhance the bacteriocidal effects of UV light. *Scientific Reports*, 2017, vol. 7, art. 4662. https://doi.org/10.1038/s41598-017-04910-3

18. Häder D. P., Williamson C. E., Wängberg S. Å., Rautio M., Rose K. C., Gao K., Helbling E. W., Sinha R. P., Worrest R. Effects of UV radiation on aquatic ecosystems and interactions with other environmental factors. *Photochemical & Photobiological Sciences*, 2015, vol. 14, no. 1, pp. 108–126. https://doi.org/10.1039/c4pp90035a

19. Trofimov Yu. V., Lishik S. I., Soroko O. L., Bespalova E. V., Tsvirko V. I., Chelyapin A. E., Bareko E. A. The effect of LED ultraviolet radiation on milk disinfection. *Nauka, pitanie i zdorov'e: sbornik nauchnykh trudov* [Science, nutrition, and health: collection of scientific papers]. Minsk, 2024, pp. 381–386 (in Russian).

## Информация об авторах

*Трофимов Юрий Васильевич* – кандидат технических наук, директор Центра светодиодных и оптоэлектронных технологий Национальной академии наук Беларуси (Логойский тракт, 20, 220090, Минск, Республика Беларусь). E-mail: info@ledcenter.by

*Лишик Сергей Иванович* – кандидат технических наук, заместитель директора по научной работе, Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий Национальной академии наук Беларуси (Логойский тракт, 20, 220090, Минск, Республика Беларусь). E-mail: info@ledcenter.by

*Сороко Олег Леонидович* – кандидат технических наук, доцент, главный энергетик, Институт мясо-молочной промышленности, Национальная академия наук Беларуси (пр. Партизанский, 172, 220075, Минск, Республика Беларусь). E-mail: saroka.aleh@gmail.com

*Беспалова Екатерина Владимировна* – кандидат технических наук, доцент, заведующий отраслевой лабораторией, Институт мясо-молочной промышленности, Национальная академия наук Беларуси (пр. Партизанский, 172, 220075, Минск, Республика Беларусь). E-mail: bespalova-kat@mail.ru

*Полын Ангелина Николаевна* – инженер отраслевой лаборатории, Институт мясо-молочной промышленности, Национальная академия наук Беларуси (пр. Партизанский, 172, 220075, Минск, Республика Беларусь). E-mail: info@instmmp.by

*Град Дмитрий Валентинович* – младший научный сотрудник, Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий Национальной академии наук Беларуси (Логойский тракт, 20, 220090, Минск, Республика Беларусь). E-mail: info@ledcenter.by

*Слепокуров Вадим Евгеньевич* – начальник конструкторско-технологического бюро, Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий Национальной академии наук Беларуси (Логойский тракт, 20, 220090, Минск, Республика Беларусь). E-mail: info@ledcenter.by

*Челяпин Алексей Евгеньевич* – заведующий научно-исследовательским отделом, Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий Национальной академии наук Беларуси (Логойский тракт, 20, 220090, Минск, Республика Беларусь). E-mail: info@ledcenter.by

*Щитникова Анна Игоревна* – младший научный сотрудник, Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий Национальной академии наук Беларуси (Логойский тракт, 20, 220090, Минск, Республика Беларусь). E-mail: info@ledcenter.by

*Асиненко Денис Артурович* – младший научный сотрудник, Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий Национальной академии наук Беларуси (Логойский тракт, 20, 220090, Минск, Республика Беларусь). E-mail: info@ledcenter.by

*Захарова Нина Аркадьевна* – ведущий инженер-конструктор, Центр светодиодных и оптоэлектронных технологий Национальной академии наук Беларуси (Логойский тракт, 20, 220090, Минск, Республика Беларусь). E-mail: info@ledcenter.by

## Information about the authors

*Yuri V. Trofimov* – Ph. D. (Engineering), Director of the Center for LED and Optoelectronic Technologies of the National Academy of Sciences of Belarus (20, Logoysky Trakt, 220090, Minsk). E-mail: info@ledcenter.by

*Sergey I. Lishik* – Ph. D. (Engineering), Deputy Director for Research, Center for LED and Optoelectronic Technologies of the National Academy of Sciences of Belarus (20, Logoysky Trakt, 220090, Minsk). E-mail: info@ledcenter.by

*Oleg L. Soroko* – Ph. D. (Engineering), Associate Professor, Chief Power Engineer, Institute of Meat and Dairy Industry, National Academy of Sciences of Belarus (172, Partizansky Ave., 220075, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: saroka.aleh@gmail.com

*Ekaterina V. Bespalova* – Ph. D. (Engineering), Associate Professor, Head of the Industry Laboratory, Institute of Meat and Dairy Industry, National Academy of Sciences of Belarus (172, Partizansky Ave., 220075, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bespalova-kat@mail.ru

*Angelina N. Polyn* – Engineer at the Industrial Laboratory, Institute of Meat and Dairy Industry (172, Partizansky Ave., 220075, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: info@instmmp.by

*Dmitry V. Grad* – Junior Researcher, Center for LED and Optoelectronic Technologies of the National Academy of Sciences of Belarus (20, Logoysky Trakt, 220090, Minsk). E-mail: info@ledcenter.by

*Vadim E. Slepokurov* – Head of the Design and Technology Bureau, Center for LED and Optoelectronic Technologies of the National Academy of Sciences of Belarus (20, Logoysky Trakt, 220090, Minsk). E-mail: info@ledcenter.by

*Alexey E. Chelyapin* – Head of the Research Department, Center for LED and Optoelectronic Technologies of the National Academy of Sciences of Belarus (20, Logoysky Trakt, 220090, Minsk). E-mail: info@ledcenter.by

*Anna I. Shchitnikova* – Junior Researcher, Center for LED and Optoelectronic Technologies of the National Academy of Sciences of Belarus (20, Logoysky Trakt, 220090, Minsk). E-mail: info@ledcenter.by

*Denis A. Asinenko* – Junior Researcher, Center for LED and Optoelectronic Technologies of the National Academy of Sciences of Belarus (20, Logoysky Trakt, 220090, Minsk). E-mail: info@ledcenter.by

*Nina A. Zakharova* – Leading Design Engineer, Center for LED and Optoelectronic Technologies of the National Academy of Sciences of Belarus (20, Logoysky Trakt, 220090, Minsk). E-mail: info@ledcenter.by

ISSN 1817-7204 (Print)
ISSN 1817-7239 (Online)

## *ПЕРАПРАЦОЎКА І ЗАХАВАННЕ СЕЛЬСКАГАСПАДАРЧАЙ ПРАДУКЦЫІ*

### *PROCESSING AND STORAGE OF AGRICULTURAL PRODUCTS*

UDC 637.3.056
https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-4-342-352

Поступила в редакцию 29.01.2026
Received 29.01.2026

**Ksenia A. Andreychikova[1], Oksana V. Anistratova[1, 2], Marina N. Alshevskaya[2], Dmitry L. Alshevsky[2]**

*[1]Western Branch of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration, Kaliningrad, Russian Federation*
*[2]Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russian Federation*

# STUDY OF QUALITY INDICATORS OF SOFT CHEESE DURING STORAGE AND JUSTIFICATION OF ITS SHELF LIFE

**Abstract.** In connection with the emerging trend towards healthy eating, the development of soft cheeses with a probiotic focus, produced using biocompatible consortia of microorganisms and possessing increased nutritional and biological value due to the inclusion of plant-based ingredients, is relevant. The scientific significance of the study lies in the theoretical and experimental substantiation of the synergistic interaction of probiotic bacterial strains and non-traditional plant raw materials in the dairy product matrix. The results of a study substantiating the shelf life of soft cheeses with probiotic cultures enriched with a plant filler are presented. A consortium of microorganisms consisting of *S. salivarius* sp. *thermophilus*, *L. delbrueckii* sp. *bulgaricus*, *P. freudenreichii* subsp. *P. shermanii* KM-186 is used as the probiotic component. A plant component used to enrich soft cheese is tiger nut (*Cyperus esculentus* L.). To comprehensively evaluate quality indicators, the produced soft cheese samples were subjected to refrigeration storage (at a temperature of (4 ± 2) °C) using polymer packaging and a modified atmosphere (MAP). During refrigeration storage of trial batches of soft cheeses, changes in their organoleptic and physico-chemical characteristics were assessed. Microbiological indicators of the samples, including spoilage indicators, as well as the dynamics of probiotic microflora development (lactic acid and propionic acid microorganisms) during storage in two packaging options were determined. Based on the data obtained, the shelf life of the trial batches of soft cheeses was established: 10 days for polymer packaging and 15 days when using a modified atmosphere. The obtained results can be applied in the dairy industry to expand the range of functional food products, as well as in the development of technical documentation for the production of new types of fortified cheeses.

**Keywords:** soft cheese, shelf life, storage, organoleptic indicators, physico-chemical indicators, microbiological indicators, probiotic, modified atmosphere

**For citation:** Andreychikova K. A., Anistratova O. V., Alshevskaya M. N., Alshevsky D. L. Study of quality indicators of soft cheese during storage and justification of its shelf life. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series*, 2026, vol. 64, no. 4, pp. 342–352. https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-4-342-352

**К. А. Андрейчикова[1], О. В. Анистратова[1, 2], М. Н. Альшевская[2], Д. Л. Альшевский[2]**

*[1]Западный филиал Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, Калининград, Российская Федерация*
*[2]Калининградский государственный технический университет, Калининград, Российская Федерация*

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА МЯГКОГО СЫРА В ПРОЦЕССЕ ХРАНЕНИЯ И ОБОСНОВАНИЕ ЕГО СРОКА ГОДНОСТИ

**Аннотация.** В связи с тенденцией к здоровому питанию актуальной является разработка мягких сыров пробиотической направленности, произведенных с помощью биосовместимых консорциумов микроорганизмов и обладающих повышенной пищевой и биологической ценностью за счет включения в состав растительных компонентов. Научная значимость работы заключается в теоретическом и экспериментальном обосновании синергетического взаимодействия пробиотических штаммов бактерий и нетрадиционного растительного сырья в матрице молочного продукта. Приводятся результаты исследования по обоснованию срока годности мягких сыров с пробиотическими

культурами, обогащенных растительным наполнителем. В качестве пробиотической составляющей рассмотрен консорциум микроорганизмов, состоящий из *S. salivarius* sp. *thermophilus*, *L. delbrueckii* sp. *bulgaricus*, *P. freudenreichii* subsp. *P. shermanii* KM-186. Растительный компонент, используемый для обогащения мягкого сыра, – сыть съедобная луговая (*Cyperus esculentus* L.). Для комплексной оценки показателей качества произведенные образцы мягких сыров были подвергнуты холодильному хранению (при температуре (4 ± 2) °С) с использованием полимерной упаковки и модифицированной газовой среды (МГС). В процессе холодильного хранения опытных партий мягких сыров оценивались изменения их органолептических и физико-химических характеристик. Установлены микробиологические показатели образцов, включая показатели порчи, а также динамика развития пробиотической микрофлоры (молочнокислых и пропионовокислых микроорганизмов) в процессе хранения в двух вариантах упаковочных решений. На основании полученных данных установлены сроки годности опытных партий мягких сыров, которые составили 10 сут для полимерной упаковки и 15 сут при использовании МГС. Полученные результаты могут быть применены на предприятиях молочной промышленности для расширения ассортимента функциональных продуктов питания, а также при разработке технической документации на производство новых видов обогащенных сыров.

**Ключевые слова:** мягкий сыр, срок годности, хранение, органолептические показатели, физико-химические показатели, микробиологические показатели, пробиотик, модифицированная газовая среда

**Для цитирования:** Исследование показателей качества мягкого сыра в процессе хранения и обоснование его срока годности / К. А. Андрейчикова, О. В. Анистратова, М. Н. Альшевская, Д. Л. Альшевский // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2026. – Т. 64, № 4. – С. 342–352. https://doi.org/10.29235/1817-7204-2026-64-4-342-352

**Introduction.** Currently, the government is paying close attention to healthy nutrition for the population. This can be achieved through improving both traditional food production technologies and creating new fortified products, including probiotic ones.

The modern cheese-making market is undergoing significant changes. Changes are observed in market segmentation, particularly in the growth of soft cheese production, which requires lower raw material and energy costs and is in high demand among various population groups [1]. Soft cheeses available on the Russian and Belarusian markets are mainly produced industrially using the rennet and acid-rennet methods. The production of soft cheeses using the fermented milk (lactic acid) method is limited and is used mainly in small cheese factories, which is associated with the technological features of their production, organoleptic and physico-chemical characteristics (high moisture content, absence or low salt content) [2].

The development of technology for soft acid cheeses enriched with biocompatible microbial consortia, including propionibacteria, is promising for expanding the range of dairy products [3, 4]. Propionibacteria strengthen the human immune system, possess antimutagenic properties, and form a number of compounds important for the body during their vital activity, including vitamin $B_{12}$ [5, 6].

Research conducted by scientists is aimed at developing functional food products using domestic plant-based raw materials with therapeutic and prophylactic properties and a rich vitamin and mineral composition [7, 8].

Scientists from Moscow State University of Food Sciences and Technology (MGUPP) have presented a technology for producing soft cream cheese with fish collagen hydrolysates [9]. To regulate the biological value, namely the amino acid, lipid, carbohydrate, mineral and vitamin compositions, recipes for soft cheeses with a dietary and therapeutic-prophylactic focus have been developed [10–14]. Cheeses enriched with probiotics have been presented: *Bifidobacterium longum MS-42*, *Lactobacillus plantarum 8PA-3* and dietary fiber “Citri-Fi” [11]. A functional cheese with the addition of rose hips, honeysuckle, and black currant has been developed. The feasibility of their use in the technology of soft cheese production has been substantiated [10, 12]. At the Altai State Technical University named after I. I. Polzunov, a patent was developed describing a method for the production of soft cheese using pure cultures of lactic acid and bifidobacteria BB-12S [13]. At the Omsk State Agrarian University named after P. A. Stolypin, in the production of soft cheeses, researchers substantiated the method of introducing a starter culture consisting of lactic acid microorganisms and buckwheat or oat bran in an amount of 4.0 % of the mass of the normalized mixture [14]. The Institute of Meat and Dairy Industry (part of the National Academy of Sciences of Belarus) and related organizations are also conducting research on technologies for soft and functional cheeses, including the use of new strains of starter cultures and various functional ingredients [15, 16].

The analysis conducted within the framework of patent research and scientific literature revealed that the primary research conducted by scientists aimed at producing functional products enriched with probiotic cultures is based on the use of monocultures of lactic acid bacteria, bifidobacteria, propionic acid bacteria, or their consortia.

Various methods for producing these cheeses, such as rennet, acid-rennet, and melting, are also being explored. However, despite the wide range of technological solutions presented, the technology for producing probiotic soft cheeses obtained by the acid method requires further study and detailed development.

A crucial aspect is not only the production of enriched and functional dairy products but also the reduction of losses during logistics, maintaining quality and safety throughout the entire shelf life under specified conditions, using modern technological packaging solutions [17].

**Research Objectives and Tasks.** The aim of the study was to experimentally determine and scientifically substantiate the shelf life of soft cheeses containing probiotic cultures (*Streptococcus salivarius* sp. *thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* sp. *bulgaricus*, *Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii* KM-186) and a plant-based filler (*Cyperus esculentus* L.).

To achieve this goal, the following tasks have been set:

1) to study the organoleptic and physico-chemical properties of soft cheeses during storage;

2) to study the microbiological properties of soft cheeses during storage in aerobic and anaerobic environments;

3) to substantiate the shelf life of soft cheeses using various packaging solutions.

**Materials and Methods.** The raw materials and auxiliary components used for the experiment are presented in Table 1. All raw materials used complied with regulatory requirements.

T a b l e 1. **Raw materials and auxiliary components**

| Component Name | Manufacturer | Regulatory Documentation |
|---|---|---|
| Raw cow's milk | Gusevmoloko LLC, Russian Federation | National state standard R 52054-2023, TR CU 033/2013 |
| Direct inoculation starter | Genesis Laboratories, Bulgaria | TR CU 033/2013 |
| Concentrated liquid inoculation starter | Propionics LLC, Russian Federation | Technical specifications 9229-007-02069473-2005, TR CU 033/2013 |
| Edible tiger nut tubers | IP Rynkovoy A. P., Russian Federation | Organization standard 2044340097-001-2021, TR CU 021/2011 |

Pilot batches of soft cheeses were produced according to the process flow chart shown in Figure 1.

During the acceptance and preparation of raw materials, milk is accepted based on its weight and quality, as determined by the company's quality control department (laboratory). If necessary, milk may be stored until use at a temperature of (4 ± 2) °C, but for no more than 12 hours.

The milk is normalized by adding skim milk to whole milk until the mass fraction of fat in the mixture reaches 2.5 %. The milk is cleaned using centrifugal milk cleaners, then the normalized mixture is heated in a heat exchanger to a temperature of 60–65 °C and sent for homogenization. Homogenization is carried out at a pressure of (6.0 ± 0.5) MPa. The normalized mixture is pasteurized at a temperature of (95 ± 2) °C with a holding time of 3–5 seconds. After holding, the mixture is cooled to a fermentation temperature of (37 ± 2) °C.

The mixture is fermented using an activated consortium of starter microorganisms consisting of (*Streptococcus salivarius* sp. *thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* sp. *bulgaricus*) and two parts of propionic acid microorganisms (*Propionibacterium freudenreichii* subsp. *shermanii* KM-186) in tanks with a cooling jacket equipped with special agitators that ensure uniform and thorough mixing of the mixture with the starter. To ensure better mixing of the mixture with the starter, the tank is filled with the mixture while the agitator is running. Mixing is completed 20 minutes after the tank is filled. Fermentation is carried out at a temperature of (37 ± 2) °C. The end of fermentation is determined by the formation of a milk curd with an acidity of 75–80 °T. The fermentation duration is 4–6 hours.

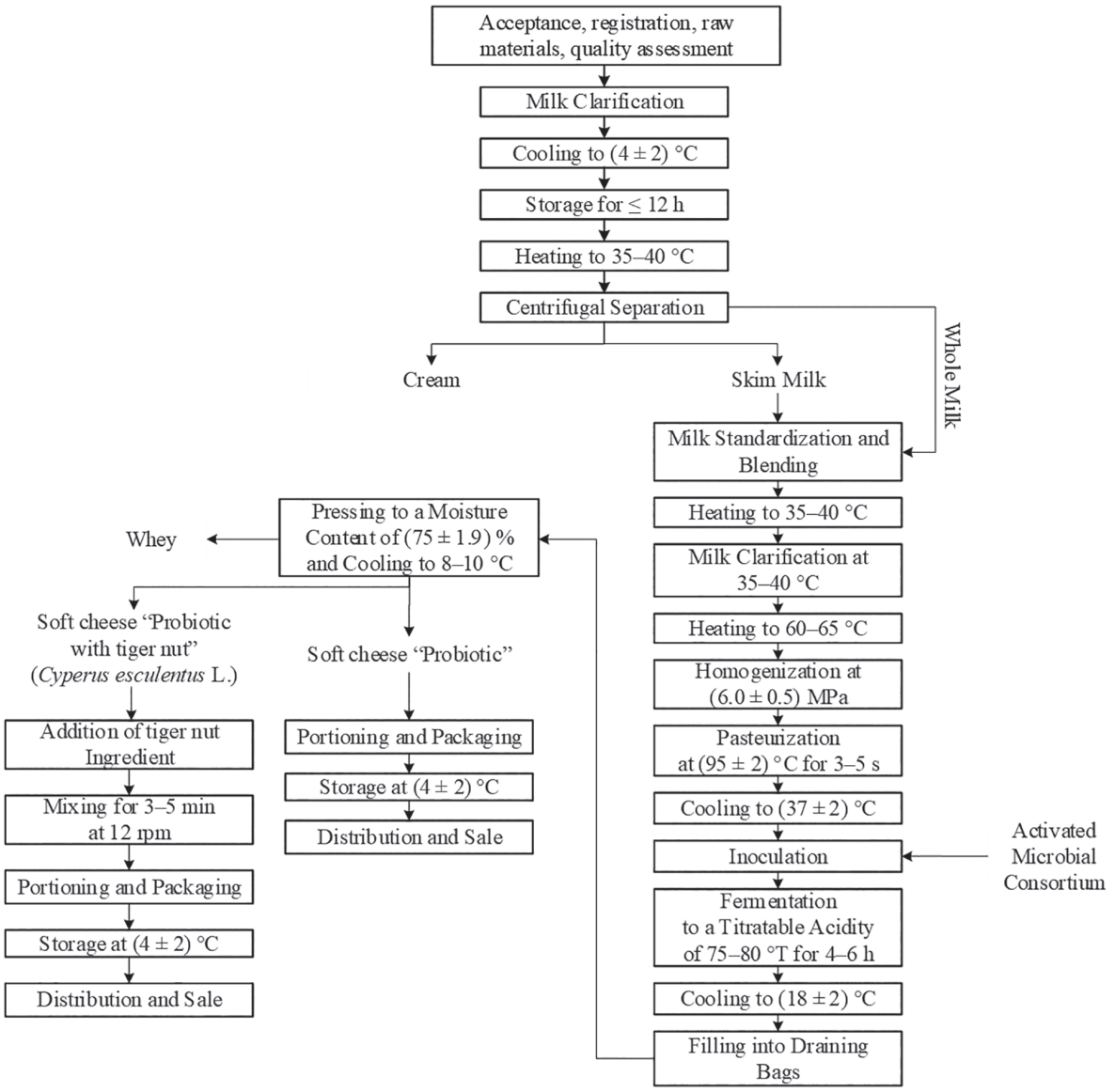



Figure 1. Production scheme for experimental samples

After the curdling process is complete, the resulting curd is cooled to a temperature of (18 ± 2) °C, poured into lavsan bags, and sent to a unit for separating the whey from the curd and cooling (Mitrofanov cooler). The temperature of the finished cheese after cooling is 8–10 °C; the process duration is 1.5–2.0 hours, until the moisture content in the product reaches (75.0 ± 1.9) %.

When producing soft cheese with a filler, the pressed mass is mixed with a filler from aseptic packaging (cleaned, dried tiger nut, particle size 3–5 mm) in a paddle mixer for 3–5 minutes (shaft rotation speed 12–15 rpm) to ensure even distribution of the components.

The resulting product is packaged in airtight consumer packaging, placed in transport packaging, and sent to a refrigeration chamber. In the refrigeration chamber, the finished product is cooled to a temperature of (4 ± 2) °C.

According to the developed program for setting the shelf life of soft cheeses "Probiotic" and "Probiotic with tiger nut", the produced batches were stored in refrigerated storage at a temperature of (4 ± 2) °C: the cheeses were stored in hermetically sealed polystyrene cups and studied on days 0, 5, 10, and 13; the second experimental batch was stored in bags made of polypropylene (60 microns) with a modified atmosphere (MAP 70 % $N_2$ + 30 % $CO_2$) and tested on the 0th, 5th, 10th, 13th, 15th, and 20th days of cold storage.

During the storage process, the organoleptic, physico-chemical, and microbiological characteristics of the soft cheese samples were evaluated.

The produced batches of soft cheeses had the characteristics presented in Table 2.

T a b l e 2. **Characteristics of cheese samples [18]**

| Indicator Name | Product Name | |
|---|---|---|
| | "Probiotic" | "Probiotic with tiger nuts" |
| Lactic acid microorganism count at end of expiration date, CFU/g, minimum | $1 \cdot 10^7$ | $1 \cdot 10^7$ |
| Propionibacterium count at end of expiration date, CFU/g, minimum | $1 \cdot 10^6$ | $1 \cdot 10^6$ |
| Moisture content, maximum, % | 75.00 ± 0.20 | 70.00 ± 0.20 |
| Protein content, minimum, % | 13.00 ± 0.50 | 11.00 ± 0.50 |
| Fat content, maximum, % | 10.00 ± 0.80 | 12.00 ± 0.80 |
| Fat content in dry matter, maximum, % | 40.00 ± 1.1 | 40.00 ± 1.1 |
| Total ash content, % | 1.059 ± 0.009 | 1.064 ± 0.009 |
| Carbohydrate content, % | 2.00 ± 0.50 | 7.00 ± 0.50 |
| Calcium content, mg/100 g | 680.32 ± 75.49 | 668.56 ± 75.49 |
| Phosphorus content, mg/100 g | 182.00 ± 11.00 | 181.00 ± 11.00 |
| Vitamin $B_{12}$ content, μg/100 g | 1.88 ± 0.16 | 1.62 ± 0.16 |
| Vitamin $B_9$ content, μg/100 g | 40.00 ± 4.00 | 36.40 ± 3.64 |
| Total tocopherol content, mg/100 g | 0.20 ± 0.04 | 3.01 ± 0.11 |

The sample scores were distributed as follows: taste and aroma – 20 points, texture – 15 points, colour – 5 points, appearance – 5 points, packaging and labeling – 5 points.

A 50-point scale developed by the authors was used to evaluate the organoleptic characteristics. The physico-chemical and microbiological properties of the samples were assessed according to the methods presented in Table 3.

T a b l e 3. **Methods for determining the indicators of soft cheeses during storage**

| Name of the indicator to be determined | Regulatory documentation for the test procedure |
|---|---|
| Titratable acidity | National state standard R 54669 |
| Active acidity (pH) | National state standard 32892 |
| Water activity | National state standard 21807 |
| *Microbiological indicators:* | |
| Probiotic microorganisms | National state standard R 56139 |
| Lactic acid microorganisms | National state standard 33951 |
| Coliforms | National state standard 9225 |
| Pathogenic bacteria, including Salmonella | National state standard ISO 6785 |
| *Staphylococcus aureus* | National state standard 30347 |
| *Listeria monocytogenes* | National state standard 32031 |
| Yeasts, molds | National state standard 33566 |

During refrigerated storage of the samples in polymer packaging with a modified atmosphere, the composition of the packaging was assessed using a Gaspace Advance analyzer.

The studies were conducted at the Department of Food Technology of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education KSTU, in the Atlantic branch of the All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (AtlantNIRO) in the Russian Federation in 3–5 replicates in accordance with the methods presented in Table 3. Data processing was carried out using Microsoft Office 2024 software.

**Results and Discussion.** Fresh soft cheeses without salt or maturation are characterized by a delicate texture and high moisture content, but they have a limited shelf life. For this group of products, the shelf life is established by the manufacturer, taking into account its safety, which has been confirmed by laboratory tests. According to regulatory documentation, the shelf life for this group of products is 5 to 10 days at a storage temperature of (4 ± 2) °C.

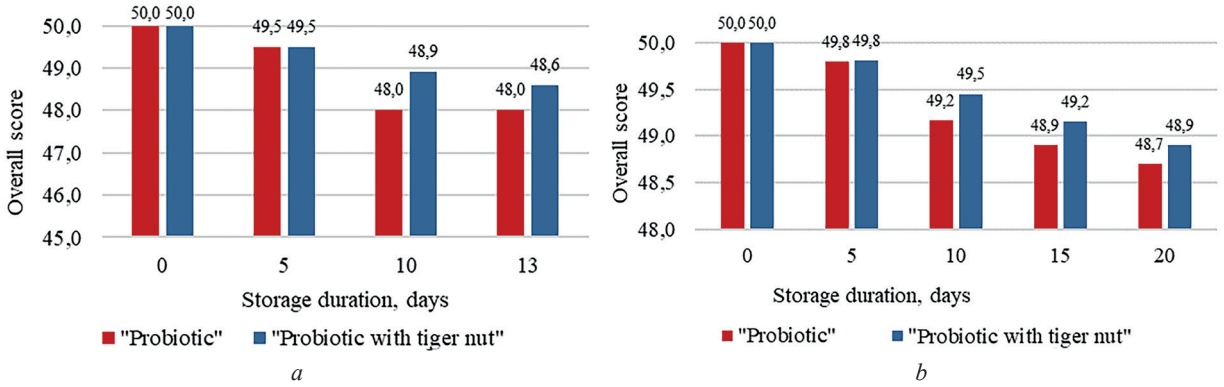



Figure 2. Changes in organoleptic characteristics of cheeses during storage:
*a* – in polymer packaging; *b* – in polymer packaging with MAP

Due to the emerging trend towards resource conservation, as well as the not always rapid "producer to customer" supply chain, there is a need to extend the shelf life of soft cheeses. This can be achieved in various ways: by changing the parameters of the refrigeration chain, by using preservatives (which contradicts the concept of healthy eating), and also by using new-generation packaging materials and storing products in a modified atmosphere.

The tasting committee conducted an organoleptic evaluation of the samples based on the following criteria: appearance, color, aroma, taste, consistency, packaging, and labeling. The change in the overall score of the samples depending on storage time and packaging method is shown in Figure 2.

At the initial stage of the research, the experimental batches of cheese had a homogeneous, uniform mass with a plastic, spreadable consistency; the colour was white with a uniform creamy hue. In the samples of soft cheese with tiger nut, the filler particles were evenly distributed throughout the mass. The taste of the cheeses was clean and characteristic of fermented milk products; in the samples with a vegetable filler, tasters noted slightly sweet notes.

Figure 2, *a* shows the changes in the overall organoleptic assessment of both cheese samples in polymer packaging over a period of 13 days for samples with and without a filler. The appearance of the studied samples of soft cheese without a plant-based filler ("Probiotic") was that of a homogeneous mass with a smooth surface; on the 10th day of storage, a single instance of surface cracking was observed, which led to a decrease in the value of this indicator to 4.6 points. The colour of the cheese was white and uniform throughout the mass; it did not change during the shelf life. The packaging and labeling of all samples were correct, complete, and clear throughout the storage period. The taste of the samples was clean, delicate, and fermented, but on the 10th day, slightly perceptible foreign sour notes appeared, which led to a rating reduction to 13.9 points. The consistency of the samples was uniform, soft, and slightly spreadable; only by the 13th day was there a slight thickening of the consistency (14.7 points).

The "Probiotic with tiger nut" cheese was a uniform mass with a smooth surface. The cheese had a white color with grey-beige inclusions of the tiger nut filler, evenly distributed throughout the mass; this color did not change during the storage period. The packaging and labeling of all samples were correct, complete, and clear throughout the storage period. The appearance of the studied samples was a homogeneous mass with a smooth surface; on the 10th day of storage, isolated cracking of the surface around the filler inclusions was observed, and the appearance score was 4.7 points. The taste of the samples was clean, delicate, and slightly sweet; however, on the 10th day, slightly perceptible foreign sour notes appeared, which led to a decrease in the score to 14.6 points by the 13th day. The consistency of the samples was uniform, soft, and slightly spreadable; only by the 13th day did the consistency became less spreadable, and swelling of the plant component particles was observed (14.6 points).

According to the tasting panel's assessment, by the 5th day of storage, the overall organoleptic evaluation of the samples deteriorated only slightly. At the third monitoring point (10th day), the total score decreased to 48.0 for "Probiotic" cheese and 48.9 for "Probiotic with tiger nut" cheese; by the end of the storage period, the scores were 48.0 and 48.6, respectively.

Figure 2, *b* shows the change in the total score of the samples stored in MAP.

The "Probiotic" cheese was a homogeneous mass with a smooth surface. The cheese's color was white, uniform throughout the mass, and did not change during the shelf life. The packaging and labeling of all samples were correct, complete, and clear throughout the storage period. The appearance of the studied samples was a homogeneous mass with a smooth surface; on the 15th day of storage, a process of isolated surface cracking was observed, which led to a decrease in the indicator value to 4.8 points. The taste of the samples was clean, delicate, and fermented, but on the 10th day, slightly perceptible foreign sour notes appeared, which resulted in a reduction of the score to 14.8 points. The consistency of the samples was uniform, soft, and slightly spreadable; only by the 15th day was a slight thickening of the consistency observed (14.6 points).

The "Probiotic with tiger nut" cheese was a uniform mass with a smooth surface. The cheese had a white color with grey-beige specks of tiger nut, uniform throughout the mass, and this did not change during the shelf life. The packaging and labeling of all samples were correct, complete, and clear throughout the storage period. The appearance of the samples under study was a homogeneous mass with a smooth surface; on the 10th day of storage, isolated cracking of the surface around the filler inclusions was observed, and the appearance score was 4.9 points; by the 20th day of storage, the appearance score was 4.8 points.

The taste of the samples was clean, delicate, and slightly sweet; however, on the 10th day, slightly noticeable foreign sour notes appeared, which led to a decrease in the score to 14.8 points by the 20th day. The consistency of the samples was uniform, soft, and slightly spreadable; only by the 15th day did the consistency become less spreadable and slightly firm, with swelling of the plant component particles observed (14.6 points).

According to the tasting panel's assessment, by the 5th day of storage, the organoleptic characteristics of the samples generally remained stable. At the third control point (day 10), the total score for the organoleptic assessment decreased and amounted to 49.2 for the "Probiotic" cheese and 49.5 for the "Probiotic with tiger nut" cheese. By the end of the storage period, the final score was 48.7 and 48.9, respectively.

As physico-chemical indicator reflecting the changes in cheese samples during storage in various packaging options, the active acidity was selected (Figure 3).

During storage, a slight decrease in this indicator was observed in the samples, which can be explained by the fact that slight lactic acid fermentation occurs in the cheese, resulting in a decrease in active acidity, which reflects the dynamics of changes in the total scores of organoleptic indicators.

During the study, the changes in gas composition inside the packaging were determined during storage of the cheese samples (Table 4).

Oxygen is a key factor for the growth of molds and yeasts, as well as for the oxidation of fats. $CO_2$ suppresses part of the microflora (aerobic) and slows down spoilage; $N_2$ is an inert gas that helps prevent the packaging from collapsing. Table 4 shows the composition of the gaseous environment in experimental batches of soft cheese.

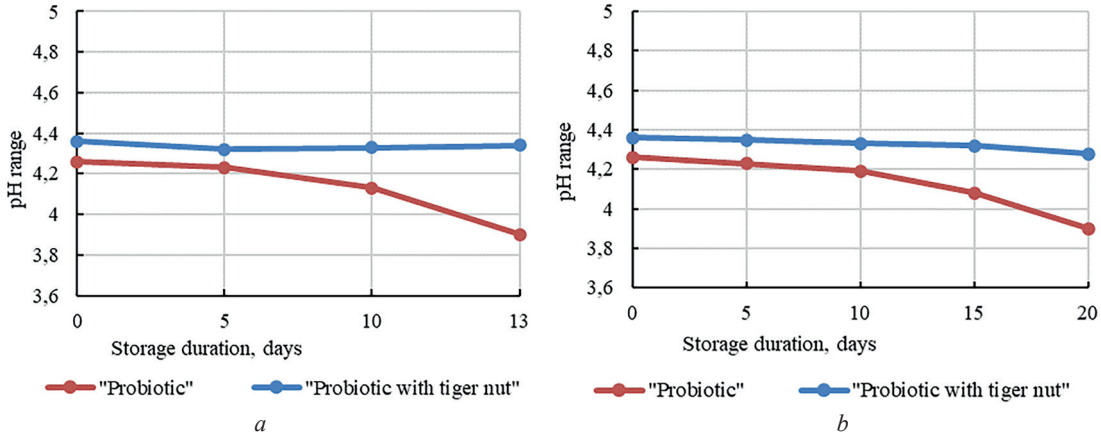



Figure 3. Changes in active acidity of soft cheese samples: *a* – in polymer packaging; *b* – in polymer packaging with modified atmosphere

T a b l e 4. **Changes in the gas composition of the packaging**

| Gas content in packaging, % | Storage life | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | Background (Day 0) | (Day 5) | (Day 10) | (Day 15) | (Day 20) |
| $O_2$ | 0.23 | 0.34 | 0.34 | 1.06 | 1.45 |
| $CO_2$ | 27.8 | 22.8 | 21.5 | 22.90 | 21.5 |
| $N_2$ | 71.9 | 76.9 | 78.2 | 76.0 | 77.0 |

Changes in the gas composition inside the packaging of a product with a modified atmosphere indicate the rate of microbiological spoilage, the integrity of the packaging, and serve as an indicator of spoilage. Inside the packaging, gases change due to the activity of microflora (including yeasts, molds, and bacteria) and the biochemical processes of the product itself. Monitoring $O_2$ helps to understand when conditions become conducive to mold growth and deterioration of taste. The rise in $CO_2$ is often correlated with the onset of undesirable processes before off-odours and flavour defects become clearly perceptible.

The data presented in Table 4 reflect the following changes by the end of the 20th day of storage: a slight increase in the volume fraction of oxygen from 0.23 % to 1.45 %, indicating the permeability of the polymer film; the accumulation of nitrogen-containing substances, which led to a slight increase in the nitrogen content by 7.1 % and a decrease in the carbon dioxide content by 22.6 %.

The air modification inside the packaging material is probably due to biochemical reactions, namely the conversion of carbohydrates to form carbon dioxide and the parallel process of its partial dissolution in water to form carbonic acid. The latter is confirmed by the results of organoleptic assessment on the 20th day of storage, which indicate the appearance of acidic notes that were previously not characteristic of the samples, as well as a decrease in active acidity by the end of storage.

To determine the shelf life of food products, microbiological studies are carried out, covering both probiotic microflora and spoilage microflora, as well as pathogenic microflora, the absence of which indicates the safety of cheeses throughout the entire storage period. The change in the number of lactic acid and propionic acid microorganisms in soft cheeses is shown in Figure 4.

Figure 4, *a*, *b* show the change in the number of microorganisms in the samples stored in polymer packaging. For these samples, the maximum number of lactic acid bacteria cells was reached by day 10 and, decreasing thereafter, reached $7.2 \times 10^9$ CFU/g for soft cheese without a filler (“Probiotic”) and $6.9 \times 10^9$ CFU/g for cheese with a plant-based filler (“Probiotic with tiger nut”) (Figure 4, *a*), respectively, at the final storage point (day 13). The number of propionic acid bacteria was recorded at its maximum on the 5th day of storage and then decreased slightly, within the same order of magnitude, in all samples by the end of the storage period (Figure 4, *b*).

Figure 4, *c*, *d* show the changes in the microflora in samples packaged with MAP. Thus, the number of lactic acid microorganisms decreased from the beginning of storage due to the lack of oxygen and by the 20th day reached $5.6 \times 10^9$ CFU/g for soft cheese without a filler (“Probiotic”) and $5.2 \times 10^9$ CFU/g for cheese with a plant-based filler (“Probiotic with tiger nut”) (Figure 4, *c*). The number of propionibacteria in these samples was maximum on the 5th day of storage, subsequently decreasing to $1.1 \times 10^9$ CFU/g (Probiotic cheese) and $1.2 \times 10^9$ CFU/g (“Probiotic with tiger nut”) by the 20th day of refrigerated storage (Figure 4, *d*).

During refrigerated storage, no pathogenic or conditionally pathogenic microflora (Salmonella, *Staphylococcus aureus*, *L. monocytogenes*, Coliform bacteria) were detected in the experimental batches of soft cheeses.

Colonies of molds were not identified in the tested batches of soft cheeses. The number of yeast cells in soft cheeses is not governed by applicable regulatory standards; however, their twofold increase in the product can be used to assess the degree of its spoilage.

In the studied batches of cheese stored both in polymer packaging and in modified atmosphere packaging, isolated yeast cells were detected at the end of the storage period; no increase exceeding twofold compared to the initially detected level was observed.

Summarizing the above experimental data, it can be concluded that soft cheeses stored in polymer packaging for 13 days, as well as samples stored in MAP for up to 20 days, showed no signs of spoilage and maintained high organoleptic, physico-chemical, and microbiological quality and safety indicators.

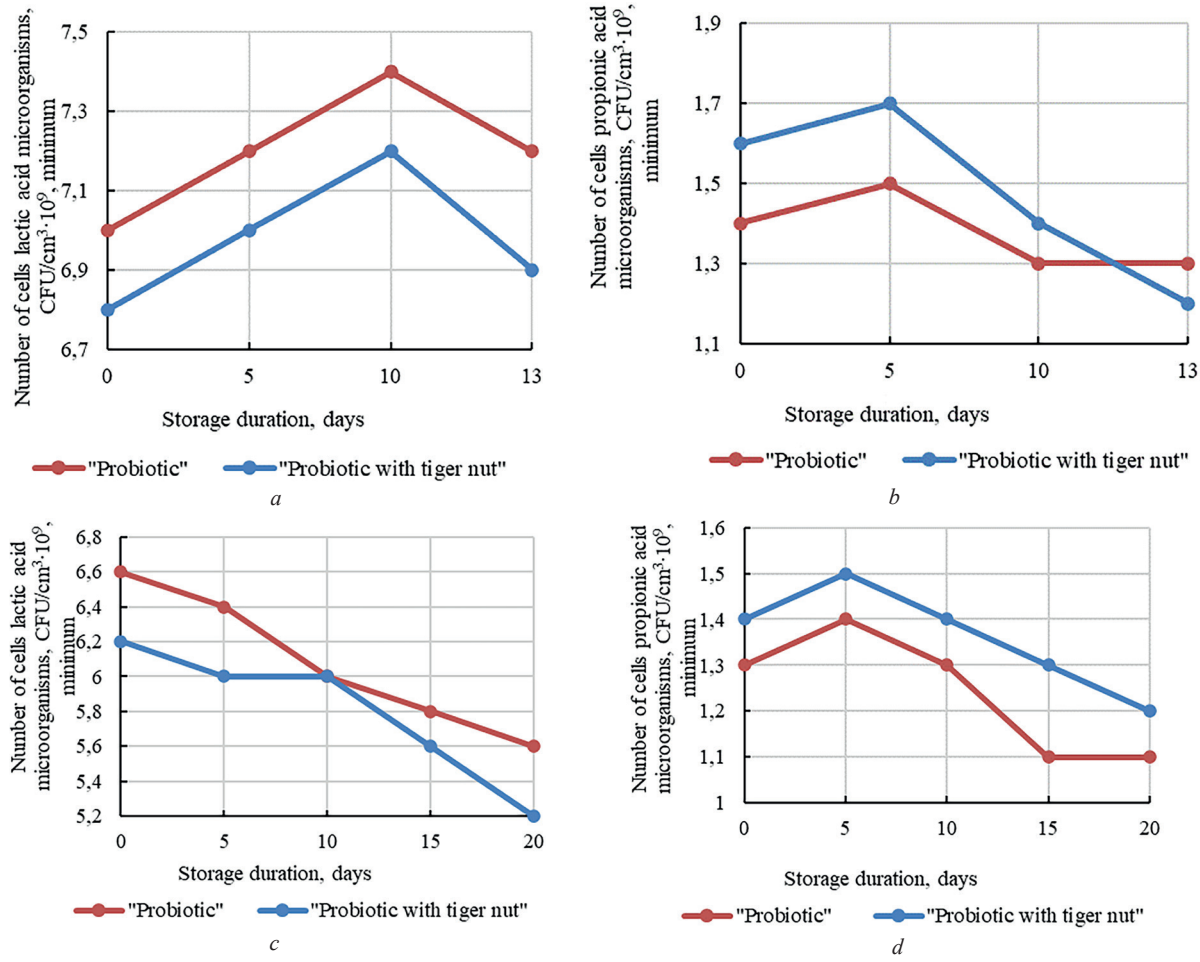



Figure 4. Changes in the number of microorganisms in soft cheeses during storage under different storage conditions: *a* – lactic acid microorganisms in polymer packaging; *b* – propionic acid microorganisms in polymer packaging; *c* – lactic acid microorganisms in polymer packaging with modified atmosphere; *d* – propionic acid microorganisms in polymer packaging with modified atmosphere

Taking into account the specified reserve factor, the shelf life of "Probiotic" and "Probiotic with tiger nut" soft cheeses was 10 days in sealed polymer packaging and 15 days in a modified atmosphere.

**Conclusions.** Modern packaging solutions enhance the efficiency and safety of storing dairy products, including soft cheeses. Regulating the gas composition inside the packaging helps slow down oxidation processes and the development of pathogenic microflora, yeast, and molds.

The studies conducted revealed that the organoleptic characteristics of soft cheeses stored in polymer packaging deteriorated by the 10th day of refrigerated storage. At the end of the studies, this indicator for samples in polymer packaging was 45.3 and 45.4 points, respectively. When storing the samples in a modified atmosphere, the final score for organoleptic characteristics reached 48.5 and 48.7 points, respectively. The changes in the organoleptic characteristics of soft cheeses during storage are primarily associated with the appearance of a sour taste and a denser texture. For the cheese with added filler, swelling of plant particles was observed.

A slight change in the active acidity index of all samples during storage under various conditions was noted. In samples without a filler, this indicator by the end of storage amounted to (3.90 ± 0.08) units, while in samples of soft cheese with a vegetable filler it was (4.34 ± 0.08) units and (4.28 ± 0.08) units, respectively.

It was established that by the end of the storage period (13 days), the number of lactic acid and propionic acid microorganisms in soft cheeses in polymer packaging was 7.2 CFU/g · $10^9$ and 1.3 CFU/g · $10^9$ ("Probiotic"); 6.9 CFU/g · $10^9$ and 1.2 CFU/g · $10^9$ ("Probiotic with tiger nut").

In the samples stored under MAP conditions: 5.6 CFU/g · $10^9$ and 1.1 CFU/g · $10^9$ ("Probiotic"), and 5.2 CFU/g · $10^9$ and 1.2 CFU/g · $10^9$ ("Probiotic with tiger nut") respectively. Storing products containing probiotic microorganisms in modified atmosphere does not affect their viability and does not change the order of magnitude of their count. Throughout the entire period of refrigerated storage, the number of pathogenic or opportunistic microflora in all experimental samples of soft cheese did not exceed the standard values.

Thus, taking into account the reserve factor of 1.3, the shelf life of soft cheeses was 10 days in sealed polymer packaging and 15 days in polymer packaging with modified atmosphere.

## References


1. Analysis of the brine and soft cheeses market in Russia: current situation and forecasts for 2026–2030. *ACG: Alto Consulting Group*. Available at: https://alto-group.ru/otchot/rossija/5769-rynok-rassolnyh-i-mjagkih-syrov-v-rossii-tekuschaja-situacija-i-prognoz-2022-2026-gg.html (accessed 2 June 2026) (in Russian).

2. Kholobova K. A., Anistratova O. V. Quality characteristics of milk curds for the production of soft cheese with probiotic properties. *Molochnaya promyshlennost' = Dairy Industry*, 2021, no. 5, pp. 32–34 (in Russian). https://doi.org/10.31515/1019-8946-2021-05-32-34

3. Kholobova K. A., Anistratova O. V., Kochina A. A. Marketing analysis of the regional market and consumer preferences of soft cheeses in the Kaliningrad region. *Tekhnologiya i tovarovedenie innovatsionnykh pishchevykh produktov = Technology and Merchandising of the Innovative Foodstuff*, 2023, no. 1 (78), pp. 71–75 (in Russian). https://doi.org/10.33979/2219-8466-2023-78-6-108-113

4. Khamagaeva I. S., Kachanina L. M., Tumurova S. M. *Biotechnology of starter cultures of propionic acid bacteria*. Ulan-Ude, East Siberian State Technological University Publishing House, 2006. 172 p. (in Russian).

5. Boyarineva I. V. *Theoretical and practical aspects of creating innovative functional bioproducts using propionic acid bacteria*. Ulan-Ude, 2020. 36 p. (in Russian).

6. Kholobova K. A., Anistratova O. V., Vinokur M. L., Rynkovoy A. P. Analysis of biopotential of the tiger nut tubers (*Cyperus esculentus* L.) produced in the Krasnodar region and the prospects for its use in food technology. *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya: Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv = Processes and Food Production Equipment*, 2022, vol. 52, no. 3, pp. 3–11 (in Russian). https://doi.org/10.17586/2310-1164-2022-15-3-3-11

7. Mishra S., Tripathi A., Tripathi D. K., Chauhan D. K. Role of sedges (*Cyperaceae*) in wetlands, environmental cleaning and as food material: possibilities and future perspectives. *Plant-environment interaction: responses and approaches to mitigate stress*. Hoboken, 2016, pp. 327–338. https://doi.org/10.1002/9781119081005.ch18

8. Shchetinina E. M., Gavrilova N. B., Chernopolskaya N. L., Shchetinin M. P. Soft cheese based on goat's milk for specialized nutrition. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyr'ya = Storage and Processing of Farm Products*, 2022, no. 3, pp. 134–146 (in Russian). https://doi.org/10.36107/spfp.2021.360

9. Martynova E. R. Soft cream cheese "Philadelphia" with hydrolyzed fish collagen. *Nauchno-prakticheskie issledovaniya* [Scientific and Practical Research], 2019, no. 8-3, pp. 141–147 (in Russian).

10. Gavrilova N. B., Dunchenko N. I. Biotechnology of production of soft cheeses from a mixture of cow's and goat's milk with functional ingredients. *Syrodelie i maslodelie = Cheese- and Buttermaking*, 2023, no. 4, pp. 40–43 (in Russian). https://doi.org/10.21603/2073-4018-2023-4-1

11. Eliseeva L. I., Stepanov K. M., Egorova V. R. The use of wild berries in soft cheese technology. *Syrodelie i maslodelie = Cheese- and Buttermaking*, 2023, no. 4, pp. 44–46 (in Russian). https://doi.org/10.21603/2073-4018-2023-4-12

12. Fedorova O. S., Klyuchko N. Yu. Study on the improvement of the recipe for soft cheese with increased biological value and osteotropic orientation. *Izvestiya KGTU = KSTU News*, 2025, no. 76, pp. 74–87 (in Russian). https://doi.org/10.46845/1997-3071-2025-76-74-87

13. Mazalevskij V. B., Volonchuk S. K., Chekryga G. P., Stankevich S. V. Method of production of soft cheese with carrotpowder of functional orientation. *Polzunovskiy vestnik*, 2023, no. 3, pp. 107–114 (in Russian). https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2023.03.014

14. Gudkov A. V. *Cheese making: technological, biological and physico-chemical foundations*. Moscow, DeLi print Publ., 2003. 799 p. (in Russian).

15. Siderko I. A., Furik N. N., Zhabnos N. K., Biruk E. N. Evaluation of the impact of *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *Lactis* and *Lactobacillus casei* subsp. *Casei* as part of a bacterial consortium for cheese on the rate of acid formation. *Aktual'nye voprosy pererabotki myasnogo i molochnogo syr'ya: sbornik nauchnykh trudov = Topical issues of processing of meat and milk raw materials: collection of research papers*. Minsk, 2022, iss. 17, pp. 101–106 (in Russian).

16. Pavlovskaya V. V. Development of production technology for soft cheese with plant components. *Sovremennye tekhnologii sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva: agronomiya, zashchita rastenii, tekhnologiya khraneniya i pererabotki sel'skokhozyaistvennoi produktsii: sbornik nauchnykh statei po materialam XXIV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Grodno, 23 marta, 14 maya 2021 g.)* [Modern technologies of agricultural production: agronomy, plant protection, agricultural storage and processing technology: collection of scientific articles based on the materials of the XXIV International Scientific and Practical Conference (Grodno, March 23, May 14, 2021)]. Grodno, 2021, pp. 384–385 (in Russian).

17. Gorbatova K. K., Gun'kova P. I. *Biochemistry of milk and dairy products*. 4th ed. St. Petersburg, GIORD Publ., 2010. 329 p. (in Russian).

18. Bykova M. V., Kholobova K. A., Anistratova O. V. Expansion of the range of probiotic fermented milk products through the use of raw materials of plant origin. *Nauchnoe obespechenie tekhnologicheskogo razvitiya i povysheniya konkurentosposobnosti v pishchevoi i pererabatyvayushchei promyshlennosti: sbornik materialov 3-i Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, 28–29 noyabrya 2023g., Krasnodar* [Scientific support for technological development and enhancement of competitiveness in the food and processing industry: proceedings of the 3rd International Scientific and Practical Conference, November 28–29, 2023, Krasnodar]. Krasnodar, 2023, pp. 326–330 (in Russian).

## Information about the authors

*Ksenia A. Andreychikova* – Lecturer, Western Branch of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (62, Artillery Str., 236038, Kaliningrad, Russian Federation). https://orcid.org/0009-0001-4404-0640. E-mail: xaandreychikova@mail.ru

*Oksana V. Anistratova* – Lecturer, Western Branch of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (62, Artillery Str., 236038, Kaliningrad, Russian Federation); Ph. D. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Food Technology, Kaliningrad State Technical University (1, Sovetsky Ave., 236022, Kaliningrad, Russian Federation). https://orcid.org/0000-0002-6278-0861. E-mail: oksana.anistratova@klgtu.ru

*Marina N. Alshevskaya* – Ph. D. (Engineering), Associate Professor of the Department of Food Technology, Kaliningrad State Technical University (1, Sovetsky Ave., 236022, Kaliningrad, Russian Federation). https://orcid.org/0000-0002-0632-9013. E-mail: marina.alshevskaya@klgtu.ru

*Dmitry L. Alshevsky* – Ph. D. (Engineering), Associate Professor of the Department of Food Technology, Kaliningrad State Technical University (1, Sovetsky Ave., 236022, Kaliningrad, Russian Federation). https://orcid.org/0000-0003-4809-2998. E-mail: alshevsky@klgtu.ru

## Информация об авторах

*Андрейчикова Ксения Александровна* – преподаватель, Западный филиал Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации (ул. Артиллерийская, 62, 236038, Калининград, Российская Федерация). https://orcid.org/0009-0001-4404-0640. E-mail: xaandreychikova@mail.ru

*Анистратова Оксана Вячеславовна* – преподаватель, Западный филиал Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации (ул. Артиллерийская, 62, 236038, Калининград, Российская Федерация); кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии продуктов питания, Калининградский государственный технический университет (Советский пр., 1, 236038, Калининград, Российская Федерация). https://orcid.org/0000-0002-6278-0861. E-mail: oksana.anistratova@klgtu.ru

*Альшевская Марина Николаевна* – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продуктов питания, Калининградский государственный технический университет (Советский пр., 1, 236038, Калининград, Российская Федерация). https://orcid.org/0000-0002-0632-9013. E-mail: marina.alshevskaya@klgtu.ru

*Альшевский Дмитрий Леонидович* – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продуктов питания, Калининградский государственный технический университет (Советский пр., 1, 236038, Калининград, Российская Федерация). https://orcid.org/0000-0003-4809-2998. E-mail: alshevsky@klgtu.ru