

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЕЛЕЦКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. И.А. БУНИНА»

АГРОПРОМЫШЛЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ

Выпуск 1 (№ 35) / Елец, 2025

Учредитель и издатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина» (399770, Липецкая область, г. Елец, ул. Коммунаров, 28, 1).

«Агропромышленные технологии Центральной России» является научно-практическим рецензируемым журналом, входит в перечень ВАК при Минобрнауки российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук. Журнал размещается в национальной информационно-аналитической системе РИНЦ. Журнал основан в 2016 году, выходит 4 раза в год. Свидетельство о регистрации ISSN: 2541-7835

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР ЖУРНАЛА, ПРЕДСЕДАТЕЛЬ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

ГУЛИДОВА Валентина Андреевна – Заслуженный работник сельского хозяйства Российской Федерации, д-р с.-х. наук, профессор ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина».

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА:

ЗАХАРОВ Вячеслав Леонидович – д-р с.-х. наук, профессор ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина».

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ:

ШУБКИН Сергей Юрьевич – канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина».

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ:

ТЕХНОЛОГИЯ ХРАНЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ

АБЖАНОВА Шолпан Амангелдыкызы – канд. техн. наук, профессор Алматинского технологического университета.

БАКИН Игорь Алексеевич – д-р техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева».

ВАСЮКОВА Анна Тимофеевна – д-р техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)».

ГЛОТОВА Ирина Анатольевна – д-р техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I».

КЛЮЧНИКОВ Андрей Иванович – д-р техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)».

ОВСЯННИКОВ Виталий Юрьевич – д-р техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий».

ОСПАНОВ Асан Бекешович – Академик Академии сельскохозяйственных наук Республики Казахстан, д-р техн. наук, профессор, председатель правления Казахского НИИ перерабатывающей и пищевой промышленности.

РСКЕЛДИЕВ Бердан Абдазимович – Член-корреспондент Национальной академии естественных наук Республики Казахстан, д-р техн. наук, профессор Алматинского технологического университета, почетный профессор Государственного университета им. Шакарима г. Семей.

СОКОЛ Наталья Викторовна – д-р техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина».

ШКОЛЬНИКОВА Марина Николаевна – д-р техн. наук, доцент, профессор, ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет».

ЩЕГОЛЬКОВ Николай Фёдорович – канд. с.-х. наук, доцент, ведущий научный сотрудник Липецкой лаборатории ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела».

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

АЛИЕВ Таймасхан Гасан-Гусейнович – д-р с.-х. наук, профессор ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет».

ИВОЙЛОВ Александр Васильевич – д-р с.-х. наук, профессор ФГБОУ ВО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева».

КУЗИН Андрей Иванович – д-р с.-х. наук, ведущий научный сотрудник ФНЦ им. И.В. Мичурина, профессор ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет».

НАУМКИН Владимир Петрович – д-р с.-х. наук, профессор ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет им. Н.В. Парахина».

ОБРАЗЦОВ Владимир Николаевич – д-р с.-х. наук, профессор ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I».

ОНИЩЕНКО Людмила Михайловна – д-р с.-х. наук, профессор ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина».

СОЛДАТЕНКО Алексей Васильевич – Академик Российской академии наук, д-р с.-х. наук, профессор, директор ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства».

СОТНИКОВ Борис Александрович – канд. с.-х. наук, доцент ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина».

ЩУЧКА Роман Викторович – канд. с.-х. наук, доцент ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина».

АГРОИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

ГИЕВСКИЙ Алексей Михайлович – д-р техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I».

ЕДНАЧ Валерий Николаевич – канд. техн. наук, доцент УО «Белорусский государственный аграрный технический университет».

ПОЛЯКОВ Роман Николаевич – д-р техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева».

САВИН Леонид Алексеевич – Действительный член Российской инженерной академии, д-р техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева».

СОЛОВЬЕВ Сергей Владимирович – д-р с.-х. наук, профессор ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет».

ЧАТКИН Михаил Николаевич – Член-корреспондент Российской академии Естественных наук, ректор ФГБОУ ДПО «Мордовский институт переподготовки кадров агробизнеса», д-р техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва».

ЧЕБОТАРЁВ Валерий Петрович – д-р техн. наук, профессор УО «Белорусский государственный аграрный технический университет».

ШАХОВ Сергей Васильевич – д-р техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий».

АГРОЭКОЛОГИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

ВИНОГРАДОВ Дмитрий Валериевич – д-р биол. наук, профессор ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет».

ДУБРОВИНА Ольга Алексеевна – канд. биол. наук, доцент ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина».

ЗАЙЦЕВ Глеб Анатольевич – д-р биол. наук, профессор ФГБОУ ВО «Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы».

ЗУБКОВА Татьяна Владимировна – д-р с.-х. наук, профессор ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина».

КРАВЧЕНКО Владимир Александрович – канд. с.-х. наук, доцент ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина».

КОЧАРЛИ Нателла Кериш кызы – канд. биол. наук, доцент Бакинского государственного университета.

The founder and the publisher: *The Federal State Educational Government-Financed Institution of Higher Education «Bunin Yelets State University» (399770, Lipetsk region, Yelets, Kommunarov street, 28, 1).*

«Agro-Industrial Technologies of Central Russia» is a scientific and practical peer-reviewed journal, is included in the list of the Higher Attestation Commission under the Ministry of Education and Science of Russian peer-reviewed scientific journals in which the main scientific results of dissertations for the degrees of doctor and candidate of sciences should be published. The journal is published in the national information and analytical system of the RSCI. The journal was founded in 2016, it is published 4 times a year. The certificate on registration in National agency ISSN: 2541-7835.

EDITORIAL COUNCIL:

EDITOR-IN-CHIEF OF THE JOURNAL, CHAIRMAN OF THE EDITORIAL BOARD:

GULIDOVA Valentina – Honored Worker of Agriculture of the Russian Federation, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Bunin Yelets State University.

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF:

ZAKHAROV Vjacheslav – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Bunin Yelets State University.

EXECUTIVE SECRETARY:

SHUBKIN Sergej – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Bunin Yelets State University.

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD:

TECHNOLOGY OF STORAGE AND PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTS

ABZHANOVA Sholpan – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Almaty Technological University.

BAKIN Igor - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy.

VASYUKOVA Anna - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Russian Biotechnological University.

GLOTOVA Irina – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I.

KLYUCHNIKOV Andrey – Doctor of Technical Sciences, Professor of the K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (the First Cossack University).

OVSYANNIKOV Vitaly – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Voronezh State University of Engineering Technologies.

OSPANOV Asan – Academician of the Academy of Agricultural Sciences of the Republic of Kazakhstan, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chairman of the Board of the Kazakh Research Institute of Processing and Food Industry.

RSKELDIEV Berdan – Corresponding Member of the National Academy of Natural Sciences of the Republic of Kazakhstan, Doctor of Technical Sciences, Professor of Almaty Technological University, Honorary Professor of the State University Shakarima G. Semey.

SOKOL Natalia – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Kuban State Agricultural University.

SHKOLNIKOVA Marina – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Ural State University of Economics.

SHCHEGOLKOV Nikolay – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Russian Research Institution of Breeding Case (Lipetsk Laboratory).

GENERAL AGRICULTURE AND CROP PRODUCTION

ALIEV Tajmaskhan – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Michurinsky State Agrarian University.

IVOILOV Aleksandr – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Ogaryov Mordovian State University.

KUZIN Andrey – Doctor of Agricultural Sciences, Leading Researcher at the I. V. Michurin Federal Research Center, Professor of the Michurinsky State Agrarian University.

NAUMKIN Vladimir – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin.

OBRAZTSOV Vladimir – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I.

ONISHCHENKO Lyudmila – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Kuban State Agrarian University named after I. T. Trubilin.

SOLDATENKO Alexey Vasilyevich – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Director of the Federal State Budgetary Institution «Federal Scientific Center of Vegetable Growing».

SOTNIKOV Boris – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Bunin Yelets State University.

SHHUCHKA Roman – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Bunin Yelets State University.

AGROENGINEERING SYSTEMS AND TECHNOLOGIES

GIEVSKY Alexey – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I.

EDNACH Valery – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Belarusian State Agrarian Technical University.

POLYAKOV Roman – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Oryol State University named after I.S. Turgenev.

SAVIN Leonid – Full Member of the Russian Academy of Engineering, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Oryol State University named after I.S. Turgenev.

SOLOVYOV Sergey – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Michurinsky State Agrarian University.

CHATKIN Mikhail – Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, Rector of the Mordovian Institute of Agribusiness Personnel Retraining, Doctor of Technical Sciences, Professor of the National Research Mordovian State University named after N.P. Ogarev.

CHEBOTARYOV Valery – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Belarusian State Agrarian Technical University.

SHAKHOV Sergej – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Voronezh State University of Engineering Technologies.

AGROECOLOGY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

VINOGRADOV Dmitry – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev.

ZAITSEV Gleb – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Akmulla Bashkir State Pedagogical University.

ZUBKOVA Tatiana – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Bunin Yelets State University.

DUBROVINA Olga – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Bunin Yelets State University.

KRAVCHENKO Vladimir – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Bunin Yelets State University.

KOCHARLI Natella – Candidate of Biological Sciences, associate Professor of the Baku State University.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНОЛОГИЯ ХРАНЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ

Беляев А.Г., Рыжкова Г.Ф., Канунникова Т.В., Чуваев И.В. Оценка возможности использования семян чиа при создании мягких сыров, не требующих созревания.....	8
Беляева М.А., Горбачев В.В. Математический аппарат для полифакторного моделирования и оптимизации пищевых рационов с антирадикальными свойствами.....	18
Бондарчук О.Н. Торговые сети и их потребители с позиции образования пищевых отходов.....	28
Ермолаев В.А. Вакуумная сушка пчелиного маточного молочка.....	38
Казарцев Д.А., Галкин А.И., Карачев С.В. Исследование процесса сбраживания пивного сусла смесью пивных и винных дрожжей.....	49
Лоозе В.В., Корольченко И.А., Казарцев Д.А. Оценка суммарного теплового эффекта процессов при самосогревании и самовозгорании образцов зерна ржи.....	61
Никитина Е.В., Астахов Н.М., Петрова Т.А. Оценка перспективы использования незаквасочных пробиотических молочнокислых бактерий в технологии высокожирных продуктов.....	70
Пьяникова Э.А., Ковалева А.Е., Овчинникова Е.В., Неведров А.А. Оценка качества и установление сроков годности печенья овсяного диетического.....	79

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

Барышникова А.В., Вохмина У.А. Содержание биологически активных веществ в распространённых лекарственных растениях ЦЧР.....	88
Кравченко В.А., Сотников Б.А., Цыкалов А.Н., Кравченко А.Л. Влияние гликолурила на развитие растений ярового ячменя.....	98

АГРОИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

Бунеев С.С., Шубкин С.Ю., Клапп А.В., Чудинов Е.С. Разработка дробилки-калибратора кормов для домашней птицы.....	106
Завражнов А.И., Родионов Ю.В., Рыбин Г.В., Зорина О.А., Брыксина К.В., Матвеев Д.А. Изменение температуры растительного материала в процессе сушки.....	115
Соколов И.Ю., Дарманиян А.П. Исследование противонакипного эффекта в теплообменной аппаратуре под воздействием электромагнитного поля.....	127

АГРОЭКОЛОГИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

Захаров В.Л., Пугачев Г.Н., Шубкин С.Ю., Бунеев С.С. Дифференциация бонитета почв Центральной России в интенсивных яблоневых садах.....	134
--	-----

CONTENTS

TECHNOLOGY OF STORAGE AND PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTS

Belyaev A.G., Ryzhkova G.F., Kanunnikova T.V., Chuvaev I.V. Assessment of the possibility of using chia seeds in the creation of soft cheeses that do not require ripening.....	8
Belyaeva M.A., Gorbachev V.V. Mathematical apparatus for multifactorial modeling and optimization of food rations with antiradical properties.....	18
Bondarchuk O.N. Retail chains and their consumers from an educational perspective food waste.....	28
Ermolaev V.A. Vacuum drying of royal jelly.....	38
Kazartsev D.A., Galkin A.I., Karachev S.V. Study of the process of fermentation of beer wort by beer and wine yeast.....	49
Looze V.V., Korolchenko I.A., Kazartsev D.A. Assessment of the total thermal effect of processes during self-heating and spontaneous ignition of rye grain samples.....	61
Nikitina E.V., Astakhov N.M., Petrova T.A. Assessment of the prospects for the use of non-starter probiotic lactic acid bacteria in the technology of high-fat products.....	70
Pyanikova E.A., Kovaleva A.E., Ovchinnikova E.V., Nevedrov A.A. Quality assessment and expiration dates oatmeal diet cookies.....	79

GENERAL AGRICULTURE AND CROP PRODUCTION

Baryshnikova A.V., Vohmina U.A. The content of biologically active substances in common medicinal plants of the Central black soil region.....	88
Kravchenko V.A., Sotnikov B.A., Tsykalov A.N., Kravchenko A.L. The effect of glycoluril on the development of spring barley plants.....	98

AGROENGINEERING SYSTEMS AND TECHNOLOGIES

Buneev S.S., Shubkin S.Yu., Klapp A.V., Chudinov E.S. Development of a feed calibrator crusher for poultry.....	106
Zavrzhnov A.I., Rodionov Yu.V., Rybin G.V., Zorina O.A., Bryksina E.V., Matveev D.A. Change in the temperature of plant material during drying.....	115
Sokolov I.Yu., Darmanian A.P. Study of anti-scaling effect in heat exchange equipment under electromagnetic field influence.....	127

AGROECOLOGY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

Zakharov V.L., Pugachev G.N., Shubkin S.Yu., Buneev S.S. Differentiation of soil boniteness in Central Russia in intensive apple orchards.....	134
---	-----

ТЕХНОЛОГИЯ ХРАНЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПРОДУКТОВ

TECHNOLOGY OF STORAGE AND PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTS

Научная статья

УДК 637.352: 664.641.19: 543.421/424

DOI 10.24888/2541-7835-2025-35-1-8-17

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕМЯН ЧИА ПРИ СОЗДАНИИ МЯГКИХ СЫРОВ, НЕ ТРЕБУЮЩИХ СОЗРЕВАНИЯ

**Беляев Алексей Геннадьевич^{1✉}, Рыжкова Галина Федоровна²,
Канунникова Татьяна Владимировна³, Чуваев Иван Владимирович⁴**

^{1,4}Юго-Западный государственный университет, Курская область, Курск, Россия

^{2,3}Курский государственный аграрный университет, Курская область, Курск, Россия

¹7631pektin@mail.ru✉

²rigkova_galina49@mail.ru

³kanunnikova_tv67@mail.ru

⁴impost46impost@gmail.com

Аннотация. Часто мягкие сыры не обладают достаточной пищевой ценностью. Семена чиа содержат около 40 % масла, около 20 % белков и нулевое количество холестерина. Семя чиа состоит из значительного количества клетчатки, антиоксидантов и витаминов, в том числе широкого спектра жизненно важных минералов, таких как кальций, железо, калий, цинк и других. Наиболее важным свойством семян чиа является высокое содержание незаменимой жирной кислоты, альфа-линолевой омега-3, больше чем в рыбе или других зерновых и семенах. В представленной работе рассмотрена возможность использования компонентов муки из семян чиа в качестве обогащающей добавки в изготовлении мягких сыров без созревания и их влияния на показатели качества полученных образцов. Для реализации намеченной цели изучены изготовленные образцы мягких сыров без созревания, полученные с внесением различных концентраций муки из семян чиа. В рецептуре классического мягкого сыра без созревания применена мука из семян чиа, контрольным образцом 1 был сыр, изготовленный без добавок. Для приготовления образцов использовали 0,5%, образец 2, 1% образец 3, 1,5% образец 4 муки из семян чиа, внесенной от массы молока, в процессе приготовления от 1 литра молока, что составляло 5, 10, 15 грамм соответственно. Полученные образцы исследовали по органолептическим показателям, образец 2 был отмечен, как наилучший, определяли содержание железа на спектрофотометре, количество золы и исследовали с помощью ИК Фурье спектрометра. Результаты проведенных опытов позволяют сделать вывод о том, что внесение в рецептуры муки из семян чиа увеличивает количество элемента железа в образцах мягких сыров без созревания.

Ключевые слова: мягкие сыры без созревания, мука из семян чиа, содержание железа, зола, спектроскопия

Для цитирования: Оценка возможности использования семян чиа при создании мягких сыров, не требующих созревания / А.Г. Беляев, Г.Ф. Рыжкова, Т.В. Канунникова, И.В. Чуваев // Агропромышленные технологии Центральной России. 2025. № 1(35). С. 8-17. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2025-35-1-8-17>.

Original article

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF USING CHIA SEEDS IN THE CREATION OF SOFT CHEESES THAT DO NOT REQUIRE RIPENING

Alexey G. Belyaev^{1✉}, Galina F. Ryzhkova², Tatyana V. Kanunnikova³, Ivan V. Chuvaev⁴

^{1,4}Southwestern State University, Kursk Region, Kursk, Russia

^{2,3}Kursk State Agrarian University, Kursk Region, Kursk, Russia

¹7631pektin@mail.ru✉

²rigkova_galina49@mail.ru

³kanunnikova_tv67@mail.ru

⁴impost46impost@gmail.com

Abstract. Often soft cheeses do not have sufficient nutritional value. Chia seeds contain about 40% oil, about 20% protein and zero cholesterol. Chia seeds contain a significant amount of fiber, antioxidants and vitamins, including a wide range of vital minerals such as calcium, iron, potassium, zinc and others. The most important property of chia seeds is the high content of essential fatty acid, alpha-linolenic omega-3, more than in fish or other grains and seeds. The presented work considers the possibility of using chia seed flour components as an enriching additive in the manufacture of soft cheeses without ripening, and their effect on the quality indicators of the obtained samples. To achieve the intended goal, the manufactured samples of soft cheeses without ripening, obtained with the introduction of various concentrations of chia seed flour, in the recipes were studied. In the recipe of classic soft cheese without ripening, chia seed flour was used, the control sample 1 was cheese made without additives. For the preparation of samples, 0.5%, sample 2, 1% sample 3, 1.5% sample 4, chia seed flour were used, introduced from the mass of milk, during the preparation of 1 liter of milk, which was 5, 10, 15 grams, respectively. The obtained samples were examined for organoleptic indicators, sample 2 was noted as the best, the iron content was determined on a spectrophotometer, the amount of ash, and examined using an IR Fourier spectrometer. The results of the experiments allow us to conclude that the introduction of chia seed flour into the recipes increases the amount of iron in soft cheese samples without ripening.

Keywords: soft cheeses without ripening, chia seed flour, iron content, ash, spectroscopy

For citation: Assessment of the possibility of using chia seeds in the creation of soft cheeses that do not require ripening / A.G. Belyaev, G.F. Ryzhkova, T.V. Kanunnikova, I.V. Chuvaev // Agro-industrial technologies of Central Russia, 2025, no. 1(35), pp. 8-17. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2025-35-1-8-17>.

Введение

Мягкие сыры зачастую не обладают достаточной питательной ценностью, и содержанием важных микроэлементов и биологически активных веществ. Семена чиа содержат около 40 % масла, примерно 20 % белка и не содержат холестерина [1]. Они богаты клетчаткой, антиоксидантами и витаминами, включая разнообразные жизненно важные минералы, такие как кальций, железо, фосфор, калий и цинк [2]. Одним из самых значимых свойств семян чиа является высокое содержание незаменимой жирной кислоты альфа-линоленовой омега-3, превышающее таковое в рыбе и других злаках и семенах [8].

В представленной работе изучена возможность применения муки из семян чиа, в качестве обогащающей добавки при приготовлении мягких сыров без созревания, и её воздействие на некоторые показатели качества полученных образцов. Была проведена органолептическая оценка полученных образцов, исследовано количественное содержание золы и элемента железа в образцах, получены и исследованы ИК спектры образцов.

Имеются исследования как зарубежных, так и отечественных авторов по применению растительных компонентов в качестве добавок при изготовлении мягких сыров без созревания.

Исследователи из Калининградского государственного технического университета Н.М. Рогачикова, и Л. Т. Серпунина с целью создания нового мягкого сыра изучали возможность включения в его состав ягодных порошков аронии (черноплодной рябины) и черной смородины российских производителей. Авторы установили, что при изготовлении мягкого сыра способом термокислотной коагуляции предпочтительно вносить ягодные порошки в сырную массу, из которой хорошо удалена влага. Рекомендовано применять смесь порошков

аронии и черной смородины в соотношении 1:1. Обоснована рациональная доза порошков 3 %, что позволяет не только получить новый вид десертного мягкого сыра, но и разнообразить его потребительские характеристики. Более высокие дозировки 4 и 5 % придают продукту излишне фиолетовый цвет и крошливую консистенцию [9].

Ефремова Ю.Г. В своей обзорной статье приводит примеры использования семян чиа в молочной промышленности. Семена чиа являются признанным суперфудом за счет колоссальной пользы, при выработке молочных продуктов с их добавлением улучшаются не

только функционально-технологические свойства: ускорение процесса сквашивания, улучшение влагоудерживающей способности, но и увеличивается динамическая вязкость, коэффициент консистенции и биологическая ценность готового продукта: поступление в организм человека большого количества питательных, биологически активных веществ, обеспечивающих нормальное его функционирование [3].

Т.Ф. Демьяненко с соавторами исследовали возможность использования муки семян чиа при производстве молочных ферментированных продуктов с двумя видами заквасок – *Streptococcus thermophilus* и *Lactobacillus bulgaricus*; *Streptococcus thermophilus* и *Lactococcus cremoris*. Авторы определили, что комбинация молочного и растительного сырья позволяет оптимизировать функционально технологические свойства исследуемых образцов. Образцы с добавлением муки семян чиа, сквашенные *Streptococcus thermophilus* и *Lactobacillus bulgaricus*, показали ускорение процесса. Помимо этого обеспечиваются высокие потребительские характеристики готового продукта за счет повышения влагоудерживающих свойств исследуемых образцов с мукой семян чиа [5].

С.П. Меренкова с соавторами предлагают обогащение сыров различными растительными компонентами, для улучшения микроэлементного состава. Разрабатывали технологию и рецептуры сыра, обогащенного микроэлементами – селеном и марганцем. Исследовали образцы мягкого сыра: контрольный и два опытных образца, обогащенных смесью из фундука и бразильского ореха в различных соотношениях. Органолептический анализ сыра, полученного при сухом способе посола, показал улучшение вкуса, запаха, консистенции и рисунка через 7 суток хранения как для контрольного, так и для опытных образцов сыра. Дегустационный профильный анализ выявил значительные различия в образцах сыра. Установлена высокая степень удовлетворения суточной потребности в селене и марганце при употреблении 100 г опытных образцов сыра [7].

Л.С. Кляйн предлагает рецептуру нового вида напитка на молочной основе с добавлением растительных компонентов: морковного сока, семян чиа и инулинсодержащего ингредиента-сиропа топинамбура. В результате проведенного исследования было установлено, что введение в молочно-морковную основу сиропа топинамбура и семян чиа позволяет обогатить напиток Mg, Ca, Витамином С, бета-каротином [6].

В работе Эллисон Страйт и соавторов показана оценка органолептических свойств семян люффы в сравнении с другими семенами, такими как лен, подсолнечник, чиа и конопля. Исследования проводили с йогуртами с жирностью 1% путем добавления порошков исследованных семян. В результате лучшими признали образцы с семенами чиа, а также льна, однако по физико-химическим показателям лучшими оказалась добавка из люффы [10].

Стефании Дентис Майданаа с соавторами использовали в своих опытах муку из семян чиа, «как резервуар естественного биоразнообразия, развития молочнокислых бактерий во время спонтанной ферментации муки чиа (закваски) в течение 10 дней» [10]. Исследования выявили перспективность применения закваски из муки семян чиа для культивирования молочнокислых бактерий и создания новой функциональной закваски для безглютеновых чиа-ферментированных продуктов.

Руби-Алехандра Вильямилль и ее коллеги провели исследование, в котором изучали способы обогащения сыра ненасыщенными жирными кислотами для улучшения его питательных свойств. В своих исследованиях авторы показывают, что «рыбий жир и льняное масло были наиболее исследованными источниками, богатыми НЖК, микрокапсулирование было наиболее изученной технологией включения, поскольку оно позволяет удерживать масло с минимальным влиянием на качество сыра, а нетермические технологии позволяют больше обогащать сыр НЖК», улучшая его питательные свойства. Разработка обогащенных сыров с источниками, богатыми ненасыщенными жирными кислотами, была признана инновационной стратегией для получения высококачественных продуктов с функциональным потенциалом [11].

Шеньин Чэнь, Сяюй Ло в своей обзорной статье предлагают «белок семян чиа, как перспективный источник для продуктов питания растительного происхождения» Белок в семенах чиа содержит 18 незаменимых и заменимых аминокислот, которые можно рассматривать как альтернативный источник, представлен обзор функциональных свойств белка семян чиа и его фракций с упором на растворимость, способность поглощать воду и масло и удерживать их, эмульгирующие, пенообразующие, а также желирующие свойства [12].

При обзоре публикаций зарубежных и отечественных исследователей по обогащающим компонентам, вносимым в состав мягкого сыра без созревания, не было найдено данных об исследовании такой добавки при изготовлении мягкого сыра, как мука из семян чиа, в представленных нами исследованиях семена чиа измельчаются до образования муки. В публикациях не рассмотрен вопрос о влиянии вносимых в исследуемые образцы муки из семян чиа на количественное содержание микроэлементов и макроэлементов, в нашем случае железа. Впервые представлены исследования образцов мягких сыров без созревания с применением ИК-Фурье спектрометра, получены спектры образцов.

В работе представлены результаты изучения свойств полученных образцов мягкого сыра без созревания с применением в рецептурах концентрации муки из семян чиа 0,5, 1 и 1,5 процентов, внесенной от массы молока, в процессе приготовления от 1 литра молока, что составляло 5, 10, 15 грамм соответственно. Найден наиболее приемлемый образец по органолептическим показателям и по количественному содержанию золы и элемента железа.

Цель исследования – оценить возможность применения муки из семян чиа в качестве обогащающей добавки при изготовлении мягкого сыра без созревания и изучить ее влияние на некоторые показатели качества полученных опытных образцов.

В исследовании были определены такие задачи, как подбор компонентов рецептур для создания новых видов образцов мягкого сыра без созревания, полученных с внесением различных концентраций муки из семян чиа; сравнительная оценка органолептических показателей изготовленных образцов; определение количества золы и железа в полученных образцах сыра; получение и исследование ик-спектров образцов.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в лабораториях кафедры товароведения технологии и экспертизы товаров Юго-Западного государственного университета в 2024 году.

Сырьё и рецептура опытных образцов сыра приведены в табл. 1. В основу рецептуры положена рецептура мягких сыров без созревания наиболее подходящего Адыгейского сыра, применена мука из семян чиа, контрольным образцом 1 был сыр, изготовленный без добавок.

Для приготовления образцов использовали 0,5% (образец 2); 1% (образец 3); 1,5% (образец 4) муку из семян чиа, внесенную от массы молока, в процессе приготовления от 1 литра молока, что составляло 5, 10, 15 грамм соответственно. Также в рецептуру вносили поваренную соль в количестве 2 г.

Таблица 1. Рецептуры образцов мягкого сыра без созревания, с добавлением муки из семян чиа

Номер образца, №	Рецептурные компоненты
1	Молоко коровье пастеризованное, 3,2% жирности, 1000 мл
	Соль поваренная, 2 г
	Сок лимона натуральный, 15 мл
2	Молоко коровье пастеризованное, 3,2% жирности, 1000 мл
	Соль поваренная, 2 г
	Сок лимона натуральный, 15 мл
	Мука из семян чиа, 5 г
3	Молоко коровье пастеризованное, 3,2% жирности, 1000 мл
	Соль поваренная, 2 г
	Сок лимона натуральный, 15 мл
	Мука из семян чиа, 10 г
4	Молоко коровье пастеризованное, 3,2% жирности, 1000 мл
	Соль поваренная, 2 г
	Сок лимона натуральный, 15 мл
	Мука из семян чиа, 15 г

По рецептурам, представленным в таблице 1, были изготовлены образцы мягкого сыра без созревания и исследованы их показатели качества.

При органолептических исследованиях показатели определяли в соответствии с указанными нормативными документами. ГОСТ 32263- 2013. Сыры мягкие Технические условия и ГОСТ 33630-2015 Межгосударственный стандарт. Сыры и сыры плавленые. Методы контроля органолептических показателей. Для определения железа использовали спектрофотометрический метод, «Продукты пищевые. Метод определения железа» (ГОСТ 26928-86).

Для снятия инфракрасных спектров образцы исследовали с применением приставки с кристаллической кюветой, с помощью спектрометра Iк-Фурье Nicolet is10 Thermo Fisher Scientific далее помещали образцы между оптическими кристаллами.

Проводили измерения, относительно спектра сравнения, который являлся воздухом. При абсолютном схождении полос поглощения в ИК-спектре, вещество идентично.

Результаты исследований и их обсуждение

По представленной формуле 1 вычисляли процентное содержание золы в исследуемых образцах. Массовая доля общей золы в образцах приведена в табл. 2. Согласно ГОСТ Р 52686 -2023 «Сыры. Общие технические условия», для мягких сыров этот показатель не нормируется.

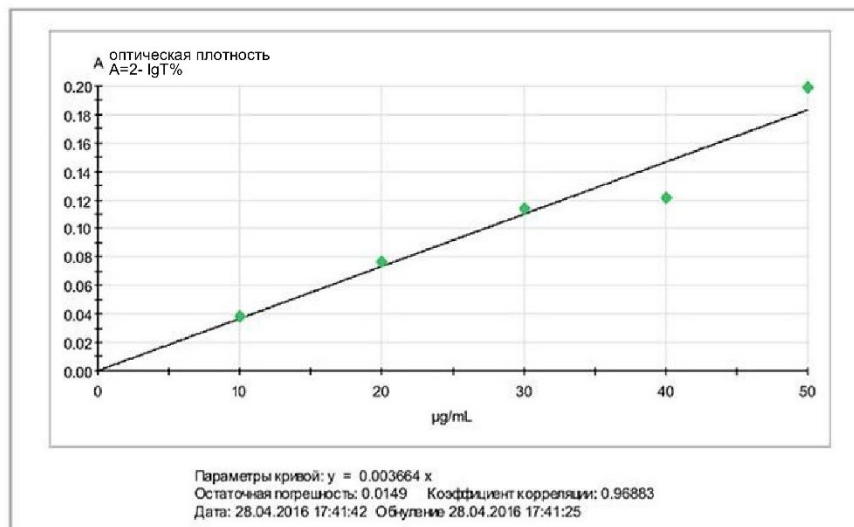
Таблица 2. Массовая доля общей золы в образцах

Номер образца, №	Массовая доля общей золы, %
1	1,1
2	2,3
3	3,3
4	3,4

Из исследований видно, что количество золы в образцах сыров увеличивается с увеличением внесения обогащающей добавки муки из семян чиа. Был проведен спектрофотомет-

рический анализ содержания железа в образцах сыров. Железо в комплексе с другими компонентами участвует в стимуляции углеводного и белкового обмена, это в свою очередь сопровождается повышением тонуса сердечно-сосудистой, дыхательной и других систем организма, способствует увеличению содержания гемоглобина в крови и количества эритроцитов.

Результаты определения железа в образцах мягких сыров без созревания с вносимой добавкой мукой из семян чиа, представлены на рис. 1.



Проба	Разведение фактор	Ордината [A]	Концентрация [μg/mL]
контроль	1	0.005	1.45
0,5% чиа	1	0.009	2.54
1% чиа	1	0.014	3.93
1,5% чиа	1	0.035	9.66

Рисунок 1. Концентрация железа в исследуемых образцах сыра

Из рис. 1 следует, что при увеличении концентрации муки из семян чиа в рецептурах мягких сыров без созревания увеличилось содержание железа в опытных образцах.

Пересчет концентрации железа из мкг/мл в мг/кг проведён по формуле 2 и приведён в табл. 3.

Таблица 3. Содержание железа в контрольном и исследуемых образцах

Название и номер образца, №	Содержание железа, мг/кг
Образец 1 контрольный	3,625
Образец 2 внесение 0,5% муки из семян чиа	6,35
Образец 3 внесение 1% муки из семян чиа	9,825
Образец 4 внесение 1,5% муки из семян чиа	24,15

Из данных табл. 3 видно, что увеличение внесения в рецептуру добавок муки из семян чиа увеличивает содержание железа в готовом продукте.

Мягкие сыры – это категория сыров, которые отличаются нежной, мягкой консистенцией и сливочным вкусом. Они могут быть изготовлены из коровьего, козьего или овечьего молока. Мягкие сыры имеют короткий срок созревания и не подвергаются прессованию. Оценка органолептических показателей проводилась по 50-балльной шкале, учитывались показатели: внешний вид, консистенция, вкус и запах, упаковка не учитывалась, в виду ее отсутствия.

Внешний вид: поверхность сыра должна быть ровной, без трещин и повреждений – 10 баллов. Цвет должен соответствовать виду сыра и быть равномерным по всей поверхности –

5 баллов. Наличие рисунка (глазков) – 5 баллов (при наличии). Отсутствие рисунка – 0 баллов.

Консистенция: консистенция должна быть нежной, пластичной, слегка мажущейся – 20 баллов. Сыр должен легко разрезаться ножом и не крошиться – 15 баллов. Вкус и запах: вкус должен быть чистым, кисломолочным, с лёгкой горчинкой или сладковатым привкусом – 10 баллов. Запах должен быть характерным для данного вида сыра, без посторонних примесей – 5 баллов. Общая оценка органолептических свойств мягкого сыра может варьироваться от 0 до 50 баллов, в зависимости от качества продукта, в исследовании не учитывалась упаковка. Результаты органолептической оценки качества традиционного и обогащенных мягких сыров представлены на рисунке 2

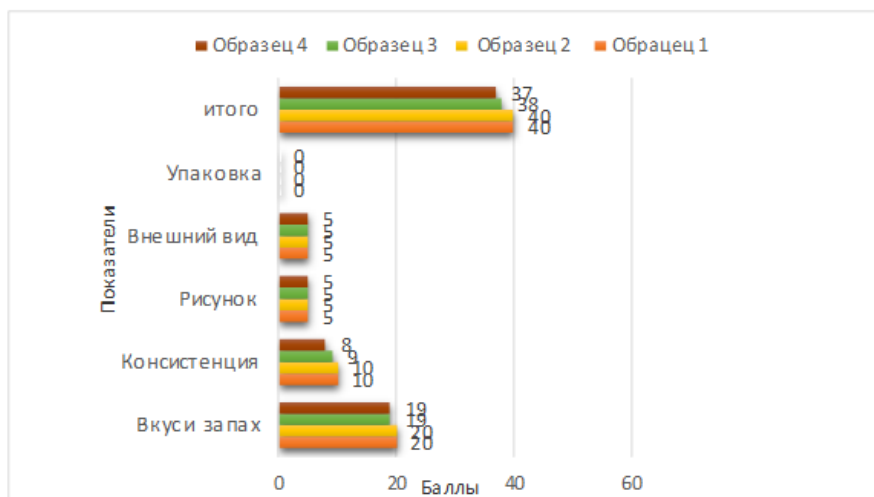
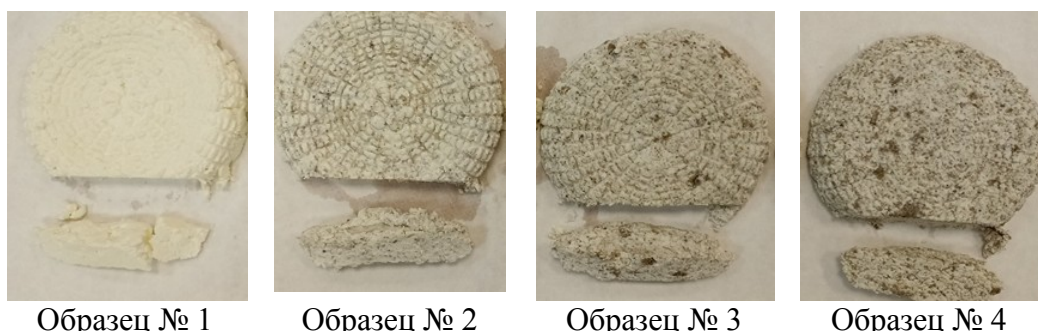


Рисунок 2. Органолептическая оценка опытных образцов мягких сыров, обогащенных мукой из семян чиа

Внешний вид полученных образцов сыра представлен на рис. 3.



Образец № 1

Образец № 2

Образец № 3

Образец № 4

Рисунок 3. Образцы сыра

Образец 2 получил высокие баллы: 40,0 так же, как и контрольный образец 1, у образца 3, 38,0 баллов - у образца 4, 37,0 баллов. Хороший (менее выраженный) вкус и запах у образцов 3 и 4, где вносилась увеличенная концентрация муки из семян чиа в молоко при приготовлении сыра. Консистенция хорошая (слегка ломкая) у образца 3 и удовлетворительная (слегка плотная) у образца 4. Рисунок отсутствует во всех образцах. Сыр корки не имеет. Поверхность ровная или морщинистая со следами прутьев, увлажненная, без ослизнения.

Наличие вкусовых компонентов – муки из семян чиа, на поверхности сыра в опытных образцах. При увеличении содержания муки из семян чиа, сыр менее плотный при прессовании, и с большим содержанием влаги по сравнению с контрольным образцом.

В целом по итогам проведенной дегустации разработанных образцов мягких сыров, обогащенных мукой из семян чиа, лучшим по органолептическим показателям оказался образец 2, также хорошие показатели имел образец 3.

При помощи ИК – спектрометра с преобразованием Фурье, получили спектры сравнения контрольных и опытных образцов сыра с добавкой муки семян чиа в различных концентрациях. Инфракрасную спектроскопию проводили в средней инфракрасной области от 500 до 4000 см^{-1} с использованием пропускающей приставки, позволяющей проводить измерения без пробоподготовки образцов.

Спектры образцов сыра с содержанием муки чиа и спектр муки чиа представлены на рисунке 4. Метод ИК-Фурье спектроскопии – это один из методов оптической спектроскопии. С помощью инфракрасной спектроскопии определяют строение молекул, наличие того или иного элемента, классов химических соединений, так как большинство колебательных и вращательных спектров молекул расположено в инфракрасной области. Колебания определенной частоты соответствуют каждому виду связи [4].

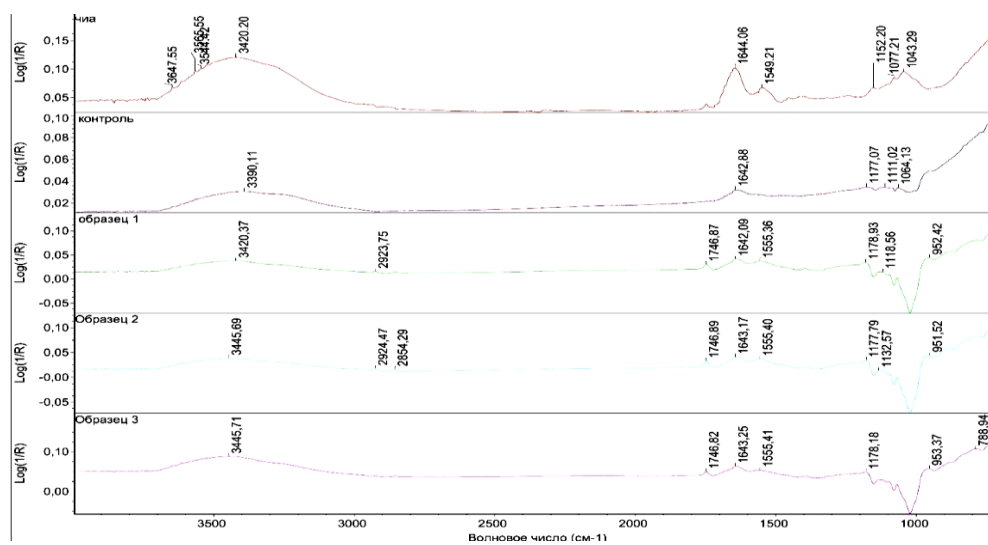


Рисунок 4. ИК спектры исследуемых образцов мягкого сыра без созревания

Исходя из справочных данных, пик с волновым числом 3342,47 см^{-1} соответствует химической группе (R)2NH, проявляющейся с волновым числом $3330 \pm 20 \text{ см}^{-1}$. В этом же диапазоне 3400-3200 см^{-1} регистрируются соли аминокислот $\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_n\text{-CO}_2^- \text{M}^+$, содержащие группы аминокислот $-\text{NH}_2$. Далее, исходя из справочных данных, пик с волновым числом 1024,62 см^{-1} , соответствует химической группе алифатических аминов 1220-1020 см^{-1} .

Следует учитывать, что химическая группа $-\text{CO}_2^-$ регистрируется пиком с волновым числом 1600-1560 см^{-1} . Рассмотренные группы принадлежат к аминокислотам и аминокислотным остаткам, которые являются частью белковых молекул. Алифатические амины, являются продуктами разложения белков. Имеется некоторая закономерность увеличения интенсивности пиков от процентного количества муки семян чиа. Чем выше интенсивность пиков, тем больше аминокислотных групп содержится в образце.

Из полученных результатов можно сделать вывод, что внесение муки семян чиа в рецептурный состав сыра несколько увеличивает содержание аминокислотных групп, что связано с увеличением количества муки из семян чиа в рецептурах. Также в образцах сыра, содержащих в рецептурах муку из семян чиа, содержатся пики, как и в образце муки из семян чиа, что указывает на обогащение элементами полученных образцов.

Выводы

1. Количество золы в образцах сыров увеличивается с увеличением внесения обогащающей добавки муки из семян чиа на 2,3; 2,2; 2,3 процента, соответственно, во втором, третьем и четвертом образцах по отношению к контрольному образцу, что указывает на увеличение элементов в образцах.

2. Увеличение внесения в рецептуру добавок муки из семян чиа, увеличивает содержание железа во втором, третьем и четвертом образцах соответственно на 2,725; 6,2; 20,525 мг/кг по отношению к контрольному образцу.

3. Лучшим по органолептическим показателям оказался образец 2, с внесением муки из семян чиа 0,5 процентов от массы молока, также хорошие показатели имел образец 3

4. Из результатов инфракрасной спектроскопии образцов мягких сыров без созревания, обогащенных следует, что внесение муки семян чиа в рецептурный состав сыра несколько увеличивает содержание аминокислотных групп, это отражено в интенсивности пиков на спектрограмме, и связано с увеличением количества муки из семян чиа в рецептурах.

Список источников

1. Биологически активные вещества семян чиа (*Salvia Hispanica* L.) / Г. Й. Хабтемайкл, Л. А. Надточий, Т.Ф. Черных [и др.] // Ползуновский вестник. 2023. № 2. С. 136-146.
2. Ефремова Ю. Г., Барковская И. А. Антиоксидантная активность семян чиа // Вестник науки. 2021. Т. 3. № 1(34). С. 165-169.
3. Ефремова Ю. Г., Барковская И. А. Использование семян чиа в качестве добавки для обогащения молочных продуктов // Colloquium-Journal. 2021. № 2-2(89). С. 13-14.
4. Изготовление хлеба из разных сортов муки с использованием пектина и молочной сыворотки и исследование их качественных показателей, ИК Фурье спектроскопия полученных образцов / А. Г. Беляев, Э. А. Пьяникова, А.Е. Ковалева [и др.] // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2020. № 2. С. 24-32.
5. Использование семян чиа (*Salvia hispanica* L.) в рецептуре ферментированного продукта на молочной основе / Т. Ф. Демьяненко, М. Л. Доморощенкова, Е. Д. Кузнецова [и др.] // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2019. № 3. С. 73-80.
6. Кляйн Л. С. Разработка рецептуры молочно-морковного коктейля с добавлением семян чиа и сиропа топинамбура // Инновационные научные исследования. 2021. № 6-1(8). С. 16-22.
7. Меренкова А.А., Фильков С.П. Разработка технологии сыров, обогащенных ореховой смесью // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2021. № 1(47). С. 34-42.
8. Панова А. С., Дергачев Д. С., Суботялов М. А. Фитохимическое исследование различных фракций семян *Salvia hispanica* (Lamiaceae) // Растительные ресурсы. 2020. Т. 56, № 4. С. 351-362.
9. Рогачикова Н. М., Серпунина Л. Т. Эффективность использования ягодных порошков в технологии мягких сыров без созревания // Сыроделие и маслоделие. 2020. № 3. С. 30-32.
10. An investigation into the sensory properties of luffa (*Luffa cylindrica* (L.)) seeds and a comparison to other seeds (flax, sunflower, chia, and hemp) / Allison Stright, Laura Baxter, Emily Dolan et al. // Food Research International. 2024. Vol. 192. P. 114746.
11. Biodiversity and technological-functional potential of lactic acid bacteria isolated from spontaneously fermented chia sourdough / Stefania Dentice Maidana, Cecilia Aristimuño Fico-secoa, Daniela Bassib et al. // International Journal of Food Microbiology. 2020. Vol. 316. P. 108425.
12. Cheese fortification through the incorporation of UFA-rich sources: A review of recent (2010-2020) evidence / Ruby-Alejandra Villamil, Maria-Paula Guzm, Myriam Ojeda-Arredondo et al. // Heliyon. 2021. No. 6. Vol. 7. Issue 1. P. e05785.
13. Shenying Chen, Xiaoyu Luo Chia seed protein as a promising source for plant-based foods: Functional properties, processing methods and potential food applications // Applied Food Research. 2024. Vol. 4. Issue 2. P. 100459.

References

1. Biologically active substances of chia seeds (*Salvia Hispanica* L.). G. J. Habtemichael, L. A. Nadtochiy, T.F. Chernykh [et al.]. Polzunovsky bulletin, 2023, no. 2, pp. 136-146.
2. Efremova Yu. G., Barkovskaya I. A. Antioxidant activity of chia seeds. Bulletin of Science, 2021, vol. 3, no. 1(34), pp. 165-169.
3. Efremova Yu. G., Barkovskaya I. A. The use of chia seeds as an additive for fortification of dairy products. Colloquium-Journal, 2021, no. 2-2(89), pp. 13-14.
4. Making bread from different types of flour using pectin and whey and studying their quality indicators, IR Fourier spectroscopy of the obtained samples. A. G. Belyaev, E. A. Pyanikova, A.E. Kovaleva [et al.]. Technologies of the food and processing industry of the agroindustrial complex - healthy food products, 2020, no. 2, pp. 24-32.
5. The use of chia seeds (*Salvia hispanica* L.) in the formulation of a fermented milk-based product. T. F. Demyanenko, M. L. Domoroshchenkova, E. D. Kuznetsova [et al.]. Scientific Journal of the National Research University of ITMO. Series: Processes and devices of food production, 2019, no. 3, pp. 73-80.
6. Klein L. S. Development of a formula for a milk-carrot cocktail with the addition of chia seeds and jerusalem artichoke syrup. Innovative scientific research, 2021, no. 6-1(8), pp. 16-22.
7. Merenkova A.A., Filkov S.P. Development of the technology of cheeses enriched with a nut mixture. Scientific Journal of the National Research University of ITMO. Series: Processes and devices of food production, 2021, no. 1(47), pp. 34-42.
8. Panova A. S., Dergachev D. S., Subotyalov M. A. Phytochemical study of various fractions of *Salvia hispanica* (Lamiaceae) seeds. Plant Resources, 2020, vol. 56, no. 4, pp. 351-362.
9. Rogachikova N. M., Serpunina L. T. The effectiveness of using berry powders in the technology of soft cheeses without ripening. Cheese and butter making, 2020, no. 3, pp. 30-32.
11. Biodiversity and technological-functional potential of lactic acid bacteria isolated from spontaneously fermented chia sourdough. Stefania Dentice Maidana, Cecilia Aristimuño Ficoosecoa, Daniela Bassib et al. International Journal of Food Microbiology, 2020, vol. 316, p. 108425.
12. Cheese fortification through the incorporation of UFA-rich sources: A review of recent (2010-2020) evidence. Ruby-Alejandra Villamil, Maria-Paula Guzm, Myriam Ojeda-Arredondo et al. Heliyon, 2021, no. 6, vol. 7, issue 1, p. e05785.
13. Shenying Chen, Xiaoyu Luo Chia seed protein as a promising source for plant-based foods: Functional properties, processing methods and potential food applications. Applied Food Research, 2024, vol. 4, issue 2, p. 100459.

Информация об авторах

А.Г. Беляев – кандидат биологических наук, доцент кафедры товароведения, технологии и экспертизы товаров;

Г.Ф. Рыжкова – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой физиологии и химии им. профессора А.А. Сысоева;

Т.В. Канунникова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры физиологии и химии им. профессора А.А. Сысоева;

И.В. Чуваев – обучающийся.

Information about the authors

A.G. Belyaev – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Commodity Science, Technology and Expertise of Goods;

G.F. Ryzhkova – Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Physiology and Chemistry named after Professor A.A. Sysoev;

T.V. Kanunnikova – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Physiology and Chemistry named after Professor A.A. Sysoev;

I.V. Chuvaev – Student.

Научная статья

УДК 51-7:641.8

DOI 10.24888/2541-7835-20254-35-1-18-27

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ АППАРАТ ДЛЯ ПОЛИФАКТОРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ПИЩЕВЫХ РАЦИОНОВ С АНТИРАДИКАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Беляева Марина Александровна^{1✉}, Горбачев Виктор Валерьевич²

^{1,2}Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия

¹belyaeva.ma@rea.ru✉

²genetic2@yandex.ru

Аннотация. Внедрение цифровых технологий во все сферы деятельности человека, включая пищевую промышленность и индустрию питания, дает возможность решать вопросы моделирования и оптимизации более интенсивно, нежели ранее, особенно вопросы создания рационов питания и кулинарной продукции заданного качества. В статье представлены итоги разработки математического аппарата, направленного на полифакторное моделирование пищевых рационов и их оптимизацию с учетом данных по химическому составу, антирадикальной активности и влиянию технологических условий переработки сырья, в том числе с учетом уменьшения технологических потерь. Для целей исследования была разработана система квадратичных уравнений на основании данных матриц между математическими факторами, матрица в форме латинского квадрата, когда число факторов равно числу уровней каждого фактора (в зависимости от сложности моделей и количества вводимых переменных). В качестве основных данных для математического моделирования также привлечены полученные нами ранее значения антирадикальной активности различных групп продуктов питания (значения этого параметра варьируют в диапазоне от 13 до 232 эквивалентов в пересчете на аскорбиновую кислоту, в среднем 25,8 экв.), полученных с применением алгоритмов машинного обучения (рассчитанные для таких групп, как: яблоки, сыры, яйца, зерновые и бобовые, морские беспозвоночные, мясные продукты, рыба и рыбные продукты, паста и мучные блюда, а также молоко). Продемонстрирована возможность формирования сбалансированного рациона, если регулировать параметры процесса и принимать во внимание как количественные, так и качественные изменения. В статье показано, что применение таких нетривиальных параметров, как антирадикальная активность (параметры антирадикальной активности задавались в диапазоне от 11 до 15 тыс. экв. на суточный суммарный рацион), возможно наряду с привычными параметрами (цена, БЖУ, калораж и т. д.) при дизайне рационов с повышенным уровнем антиоксидантной активности пищи.

Ключевые слова: антирадикальная активность, моделирование, математический аппарат, пищевые рационы, оптимизация

Для цитирования: Беляева М.А., Горбачев В.В. Математический аппарат для полифакторного моделирования и оптимизации пищевых рационов с антирадикальными свойствами // Агропромышленные технологии Центральной России. 2025. № 1(35). С. 18-27. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-20254-35-1-18-27>.

Original article

MATHEMATICAL APPARATUS FOR MULTIFACTORIAL MODELING AND OPTIMIZATION OF FOOD RATIONS WITH ANTIRADICAL PROPERTIES

Marina A. Belyaeva^{1✉}, Victor V. Gorbachev²

^{1,2}Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

¹belyaeva.ma@rea.ru✉

²genetic2@yandex.ru

Abstract. The introduction of digital technologies in all areas of human activity, including the food and food industries, makes it possible to solve modeling and optimization issues more intensively than be-

fore, especially the creation of diets and culinary products of a given quality. The article presents the results of the development of a mathematical apparatus aimed at multifactorial modeling of food rations and their optimization, considering data on chemical composition, antiradical activity and the influence of technological conditions for processing raw materials, including taking into account the reduction of technological losses. For the purposes of the study, a system of quadratic equations was developed based on data from matrices between mathematical factors, a matrix in the form of a Latin square, when the number of factors is equal to the number of levels of each factor (depending on the complexity of the models and the number of variables entered). As the main data for mathematical modeling, we also used the previously obtained values of the antiradical activity of various food groups (the values of this parameter range from 13 to 232 equivalents in terms of ascorbic acid, on average 25.8 eq.) obtained using machine learning algorithms (calculated for groups such as apples, cheeses, eggs, grains and legumes, marine invertebrates, meat products, fish and fish products, pasta and flour dishes, as well as milk). The possibility of forming a balanced diet is demonstrated if the process parameters are adjusted and both quantitative and qualitative changes are considered. The article shows that the use of such non-trivial parameters as antiradical activity (parameters of antiradical activity was set in the range from 11 to 15 thousand eq. for the daily total ration), it can be used along with the usual parameters (price, macronutrients, calories, etc.) in the design of diets with an increased level of antioxidant activity of food.

Keywords: antiradical activity, modeling, mathematical apparatus, food rations, optimization

For citation: Belyaeva M.A., Gorbachev V.V. Mathematical apparatus for multifactorial modeling and optimization of food rations with antiradical properties. *Agro-industrial technologies of Central Russia*, 2025, no. 1(35), pp. 18-27. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-20254-35-1-18-27>.

Введение

В настоящее время нарастает общемировая тенденция к увеличению на рынке доли продуктов питания, полученных посредством многостадийной переработки, начиная от механического воздействия и доведения до кулинарной готовности путем различных видов тепловой обработки. Данные продукты в научной литературе получили название «высокопроцессированные» [4-7].

Известно, что по мере технологической переработки пищевого сырья происходит удаление пищевых компонентов (потери), что способствует уменьшению антирадикального потенциала (АРП) вырабатываемых из него продуктов [3]. Учет этого особенно важен, так как известно, что часть компонентов пищевых систем участвуют в поддержании антирадикального статуса потребителей (витамины, аминокислоты и т.д.). По этой причине становятся актуальными исследования по разработке рационов для различных групп потребителей с учетом их антирадикального статуса (экологические условия проживания, прием лекарственных препаратов, биохимические и генетические особенности, в том числе при разработке индивидуализированного питания, а также с учетом климатических условий, уровня стрессированности и т.д.) [2].

Низкий антирадикальный статус потребителя можно отчасти скорректировать посредством разработки рационов с повышенным антирадикальным потенциалом, так как известно негативное влияние на здоровье человека рафинированных продуктов. Обостряет выбранную тему еще и несколько факторов [8]: первый – изменение в пищевых привычках с перекосом в преобладание жиров и «быстрых углеводов» приводит к увеличению доли больных сердечно-сосудистыми заболеваниями, склонностью к ожирению и диабету 2 типа [4,5,9,10], что подтверждено исследованиями последних десятилетий.

Несмотря на значимую потребность в рационах с повышенными АРП, тем не менее последние попытки разработки рационов почти всегда носили индивидуализированный характер, подбирались под конкретных людей и недостаточно хорошо масштабировались на потребителей с иными пищевыми привычками, спортивной активностью, возрастом и т.д. [3]. По этой причине возникла необходимость разработки математического аппарата, с применением которого процедура дизайна рациона была бы упрощена. Тем более подобный математический аппарат в дальнейшем может быть положен в основу программного продукта для автоматизированного расчета подобных рационов [1].

Цель исследования – разработка математического аппарата с использованием полифакторного моделирования и оптимизации рецептуры и процессов на их основе, формирование пищевых рационов и кулинарной продукции заданного состава

Разработка рационов питания сводится к подбору ингредиентов, что математически можно описать множеством параметров и факторов: физико-химическими свойствами и составом влажного продукта, качеством готового продукта с его пищевой и биологической ценностью в рационе, антирадикальной активностью исходного и обработанного сырья.

Материалы и методы исследований

Исследования проводились на базе ФГБОУ ВО «Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова» в период с третьего квартала 2023 по первый квартал 2025 года.

Материалами для исследования стали данные, полученные нами ранее при использовании алгоритмов машинного обучения (данные по АРП продуктов питания) [3]. Также в качестве основы для исследования была выбрана разработанная система дифференциальных уравнений, оценивающих отклонения от оптимальных диапазонов искомых значений (БЖУ, цена сырья, АРП и т.д.).

Для разработки математических моделей и оптимизации были использованы математические методы по определению коэффициентов корреляции с использованием метода Гаусса и Гаусса-Жордана, который используется для решения квадратных систем линейных алгебраических уравнений, нахождения обратной матрицы, нахождения координат вектора в заданном базисе или отыскания ранга матрицы, метод наименьших квадратов.

Результаты исследований и их обсуждение

Подход, предполагающий моделирование и оптимизацию процессов, позволяет на основе справочных, экспериментальных, тестовых данных провести подбор разных комбинаций ингредиентов с различным химическим составом и АРП. Таким образом, в основе создания модели положен многоуровневый и многофакторный принцип, переход с одного уровня на другой, начиная с монокомпонентов, таких как аминокислоты, витамины, жирные кислоты и т.д. на следующий уровень - пищевая ценность каждого ингредиента. Далее ингредиентный уровень, уровень продукта и, наконец, уровень рациона, состав перечисленных уровней зависит от разных технологических воздействий и факторов, изменений в процессе обработки (например, механического и теплового воздействия) и т.д.

В табл. 1 схематично фрагментарно представлено формирование таблицы факторов, влияющих на получение готовых пищевых рационов с заданными химическим и антирадикальными свойствами, факторы можно группировать по разным классификационным признакам и расширять по мере изучения проблемы как «по горизонтали», так и «по вертикали» или по строке и столбцу, расширяя матрицу данных.

Таблица 1. Пример двумерного массива данных, где каждой ij ячейке соответствует i столбец и j строка соответственно

Факторы	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	$X_{...n}$
X_1	0					
X_2	X_{21}	0				
X_3	X_{31}	X_{32}	0			
X_4	X_{41}	X_{42}	X_{43}	0		
X_5	X_{51}	X_{52}	X_{53}	X_{54}	0	
$X_{...n}$	X_{n1}	...	...	...	...	0

Примечание: под X_{ij} понимается любой фактор: концентрация компонентов, АРП как отдельного компонента, так и их суммы.

Оформим табличные значения или создадим реляционную базу данных – двумерный массив в формате латинского квадрата, когда число факторов равно числу опытов. Исходный массив или матрица $X_{(m, n)} = (x_{kj})$, $(k=1, m; j=1, n)$, где x_{kj} – значение j -го фактора в k -м опыте.

На основе данных по факторам и уровням определим коэффициенты корреляции, в процессе математической обработки методом наименьших квадратов, их можно представить в виде матрицы коэффициентов (см. табл. 2):

$$r_{ij} = \frac{1}{m-1} \times \sum_{k=1}^m \frac{(x_{ki} - \bar{x}_i)}{S_{x_i}} \times \frac{(x_{kj} - \bar{x}_j)}{S_{x_j}}, \quad (1)$$

где $\bar{x}_i, \bar{x}_j$ – среднее значение i -го и j -го факторов в k -м опыте;

S_{x_i}, S_{x_j} – среднеквадратичные отклонения соответствующих факторов.

Таблица 2. Матрица коэффициентов корреляции

Факторы-переменные	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	$X_{...n}$
X_1	1					
X_2	a_{21}	1				
X_3	a_{31}	a_{32}	1			
X_4	a_{41}	a_{42}	a_{43}	1		
X_5	a_{51}	a_{52}	a_{53}	a_{54}	1	
$X_{...n}$	a_{n1}	...	...	...	...	1

Для описания связей между коррелирующими факторами определим коэффициенты линейной множественной регрессии по формуле:

$$\Delta x_i = \sum_{j=1}^{n_i} p_{ij} \times \Delta x_{ij} = \overline{1, n}, \quad (2)$$

где Δx_{ij} – среднеквадратичные отклонения i -го и j -го факторов от математического ожидания;

X_i, X_j, P_{ij} – коэффициенты линейной множественной регрессии между i -м и j -м факторами (представим их в виде регрессионной матрицы P_{ij}); $i, j = 1, n$.

Для сравнительного анализа и оценок отклонений, связей факторов между собой приведем данные в матрицу безразмерных сопоставимых характеристик и рассчитаем следующим образом:

$$C_{ij} = \frac{p_{ij} \cdot \Delta x_j^0}{\Delta x_i^0}, i, j = \overline{1, n}, \quad (3)$$

где Δx_i^0 и Δx_j^0 – допустимые отклонения от нормы.

На каждый уровень вводим критерии оптимизации рецептурно-ингредиентного и химического состава кулинарных блюд.

Целевую функцию ассортиментной или рецептурной оптимизации (кулинарные блюда и продукция в рационе) можно представить:

$$\sum_{i=1}^N \left(\frac{x_i^0}{\sum_{i=1}^N x_{i_1}^0} - \frac{x_i}{\sum_{i=1}^N x_{i_1}} \right)^2 \rightarrow \min, \quad (4)$$

или

$$\sum_{i=1}^N \left| \frac{x_i^{\circ}}{\sum_{i=1}^N x_i^{\circ}} - \frac{x_i}{\sum_{i=1}^N x_i} \right| \rightarrow \min, \quad (5)$$

При ограничениях вида (формулы 6-11):

$$\sum_{i=1}^N x_{ri} \lambda_{ri} = G_r; \quad r = \overline{1, R}, \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ri} = v_r; \quad r = \overline{R+1, Q}, \quad (7)$$

где λ_{ri} – коэффициент пересчета выхода готового продукта i -продукта по r -му виду исходного ингредиентного сырья, или ресурсов G_r ;

G_r – исходный вид ингредиентного сырья или продуктовых ресурсов;

r – ограничения по исходному сырью или исходным ингредиентам;

v_r – групповой показатель произведенной продукции r -му виду исходного сырья или ресурсного ингредиентного обеспечения пищевого рациона.

Допустимые отклонения выхода продуктов в заданном рационе питания или ассортимента, из которого формируется рацион питания в диапазоне:

$$x_i^{\min} \leq x_i \leq x_i^{\max}; \quad i = \overline{1, N}; \quad x_i \geq 0, \quad (8)$$

Общее ограничение материального баланса по сырью и ингредиентам, из которых формируется рацион питания в сфере разбора:

$$\sum_{j=1}^M \sum_{n=1}^v \sum_{i=1}^{N_n} y_{ij}^{(n)} \leq \sum_{j=1}^M G_j, \quad (9)$$

где $y_{ij}^{(n)}$ – количество i -го кулинарной продукции, приготовленной из j -го вида сырья и ингредиентов;

G_j – исходное количество ингредиентов для разрабатываемых рационов питания.

$$\sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^{N_n} (Y_{ij}^n + X_{ij}^{(n)}) = \sum_{i=1}^M G_j^{(n)}; \quad n = \overline{1, v}, \quad (10)$$

где Y_{ij}^n – резерв исходного сырья или ингредиента на n -ом этапе технологической обработки (часть i -ого продукта из j -ого вида сырья или ингредиента).

Уравнение материального баланса:

$$\sum_{i=1}^{N_n} (Y_{ij}^n + X_{ij}^n) + \sum_{i=1}^{N_n} (P_{ij}^n + U_{ij}^n) = G_j^n; \quad J = \overline{1, M}; \quad n = \overline{1, v}, \quad (11)$$

где P_{ij}^n и U_{ij}^n – количество и объем кулинарной и прочей продукции и с учетом потерь на n -ом этапе технологического воздействия.

Согласно нормативным документам и сборника рецептов, кулинарные блюда и рационы, составленные из них – структурно-комплексная комбинированная продукция, на которую устанавливают требования и ограничения по химическому составу в зависимости от нормы закладки каждого ингредиента, а также потребностям самого человека, для которого этот рацион разрабатывается.

По этой причине может меняться химический состав рациона и его антирадикальные свойства, в том числе с учетом влияния технологической обработки, варьируя в заданном диапазоне и соответственно его себестоимость, химический состав, который может быть обеспечен различными рецептурами и технологическими средствами.

В связи с этим возникает необходимость определения оптимальных рецептов для получения кулинарных блюд заданного качества со сбалансированными показателями биологической ценности при рациональном использовании сырья.

Задача решается методом математического программирования с определением при заданных ограничениях оптимального рациона по критериям биологической, пищевой, ингредиентной, сырьевой или ресурсной составляющей с учетом технологического воздействия в зависимости от технологии производства, кулинарной и прочей продукции, которую включаем в пищевой рацион в заданной структуре показателей по всем уровням.

Далее по всем уровням вводятся критерии минимизации отклонения рецептуры блюда от эталонной нормативной структуры показателей биологической ценности продукта по критерию:

$$\sum_{k=1}^m \left(\frac{z_k^{\circ}}{\sum_{k_1=1}^m z_{k_1}^{\circ}} - \frac{z_k}{\sum_{k_1=1}^m z_{k_1}} \right)^2 \rightarrow \min, \quad (12)$$

При ограничениях по элементарному (нутриентному) составу продукта:

$$z_k^{\min} \leq B_k \sum_{j=1}^I p_{jk} x_j \leq z_k^{\max}; \quad k = \overline{1, m}, \quad (13)$$

где x_j – долевое содержание j -того компонента сырья;

p_{jk} – содержание k -го нутриента в j -ом компоненте рецептуры;

B_k – коэффициент изменения k -го нутриента в процессе обработки.

При этом сумма сырьевых компонентов равняется 100% (формула 14), а значения X_j варьирует от максимального до минимального значения в зависимости от подбираемого рациона (формулы 15-17).

$$\sum_{j=1}^J x_j = 1, \quad (14)$$

$$X_j^{\min} \leq X_j \leq X_j^{\max}, \quad (15)$$

$$z_{ik}; \quad k = \overline{1, m_i}; \quad i = \overline{1, n}, \quad (16)$$

$$z_{ik}^{\min} \leq \sum_{j=1}^{J_i} p_{jk} x_j \leq z_{ik}^{\max}, \quad (17)$$

где p_{jk} – содержание k -го нутриента в j -ом компоненте рецептуры.

При расчете рационов питания можно ввести ограничения по калорийности, цене, а также их антирадикальному потенциалу с учетом того, что ранее были получены средние значения, спрогнозированные авторами с применением нейронных сетей [6], и представлены в табл. 3.

Средние значения для более 1300 позиции составляли 25,3 эквивалента (табл. 3): *

$$2400 \text{ Ккал} \leq \text{ЭЦ} \leq 3400 \text{ Ккал};$$

$$250 \text{ руб.} \leq \text{Цена} \leq 3500 \text{ руб.};$$

$$11067 \text{ экв.} \leq \text{АРП} \leq 15555 \text{ экв.} [3].$$

Таблица 3. Значения АРП, рассчитанные ИНС для продуктов и сырья из разных товарных групп [3]

№	Продуктовые группы	Статистические параметры			
		Сред.	Ошибка	Откл.	95% CI
1	Яблоки, продукты их переработки	118,16	28,79	70,52	61,73-174,59
2	Овощи, капуста	51,64	1,92	36,13	47,88-55,39
3	Бобовые и крупы	41,63	2,15	35,26	37,40-45,85
4	Сыры и сэндвичи	16,36	1,09	15,97	14,22-18,50
5	Яйца и омлеты	14,57	0,63	13,36	13,33-15,82
6	Рыба, продукты переработки	16,10	0,60	15,61	14,93-17,27
7	Молоко, йогурты	31,26	1,92	24,73	27,50-35,03
8	Паста, лапша и мучные блюда	25,94	2,72	19,21	20,61-31,26
9	Свинина, бекон	21,57	1,20	16,69	19,21-23,93
10	Морские беспозвоночные	13,87	1,14	15,65	11,63-16,11

Критерий оптимизации содержания белков, жиров, влаги в кулинарной продукции, с учетом технологических стадий (от сырья до готовой продукции) определяется по формуле 18, как квадратичное отклонение от нормативного (эталонного) значения:

$$K(\bar{b}, \bar{x}) = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m b_{ij}^0 x_j^0 - \sum_{j=1}^m b_{ij} x_j \right)^2 \rightarrow \min, \quad (18)$$

где $K(\bar{b}, \bar{x})$ – критерий оптимизации по белкам, жирам;
 b_{ij}^0 – содержание i -го элемента химического состава белка, жира, антирадикалов или содержания влаги в j -м рецептурном ингредиенте эталонного значения;
 x_j^0 – содержание i -го компонента согласно рецептуре;
 b_{ij} – содержание i -го элемента химического состава: белка, жира, антирадикальных веществ, влаги в j -м рецептурном компоненте в продукте, прошедшего все стадии технологического производства;
 x_j – содержание j -го ингредиента рецептуры в рационе после прохождения всех стадий технологического производства.

Критерий оптимизации по содержанию ингредиентов:

$$K_i(I) = \sum_{k=1}^n \left(\frac{\sum_{j=1}^m ma_{ki}^0 \cdot b_{ij}^0 \cdot x_j^0}{\sum_{j=1}^m b_{ij}^0 x_j^0} - \frac{\sum_{j=1}^m ma_{ki} \cdot b_{ij} \cdot x_j}{\sum_{j=1}^m b_{ij} x_j} \right)^2 \rightarrow \min, \quad (19)$$

где ma_{ki}^0, ma_{ki} – содержание k -го компонента в i -м элементе химического состава нормативных (эталонных) показателей и прошедшие все стадии технологической обработки;
 b_{ij}^0, b_{ij} – содержание i -го элемента химического состава (нутриента) (белка, жира.) в j -м рецептурном компоненте нормативных (эталонных) показателей и прошедшие все стадии технологической обработки.
 a_{ki}^0, a_{ki} – содержание k -го компонента в i -м элементе химического состава все стадии технологической обработки.

При этом критерий оптимизации содержания витаминов, углеводов в поликомпонентном продукте от нормативного (эталонного) показателя:

$$K_i(v, y) = \sum_{k=1}^n \left(\frac{\sum_{j=1}^m mv_{kj}^0 \cdot x_j^0}{\sum_{j=1}^m x_j^0} - \frac{\sum_{j=1}^m mv_{kj} \cdot x_j}{\sum_{j=1}^m x_{j,j}} \right)^2 \rightarrow \min, \quad (20)$$

где mv_{kj}^0, mv_{kj} – удельное содержание k -го элемента химического состава в j -м рецептурном компоненте до и после технологической стадии;
 x_j^0, x_j – доля j -го компонента рецептуры до и после технологической стадии.

Критерий оптимизации содержания от нормативной (эталонной) структуры АРП антирадикальных веществ, с учетом потерь в результате технологического воздействия:

$$K_i(ARП) = \sum_{k=1}^n \left(\frac{\sum_{j=1}^m b_{kj}^0 x_j^0}{\sum_{j=1}^m x_j^0} - \frac{\sum_{j=1}^m b_{kj} x_j}{\sum_{j=1}^m x_j} \right)^2 \rightarrow \min, \quad (21)$$

где b_{kj}^0, b_{kj} – содержание k -го элемента химического состава в j -ом рецептурном компоненте моделируемого продукта до и после технологического воздействия;
 x_j^0 – содержание i -го элемента биологической ценности до технологического воздействия, исходный продукт;
 x_j – содержание j -го ингредиента рецептуры после технологического воздействия.

Заданные ограничения:

– содержание j -го ингредиента рецептуры:

$$x_j = \varphi_j(T, t, F, \dots); j=1, m; \quad (22)$$

– содержание i -го компонента химического состава:

$$\sum_{j=1}^m b_{ij} x_j = \varphi_i (T, t, d, q, \dots); \quad i=1, 4; \quad (23)$$

– содержание k -го ингредиента в i -м элементе химического состава:

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^m a_{ki} b_{ij} x_j = \varphi_k (T, t, d, m, \dots); \quad k=1, m_i; \quad (24)$$

где T – температура воздействия;

t – продолжительность теплового или механического воздействия, которые меняют структурно-механические свойства, консистенцию, внешний вид;

d – геометрические параметры пищевого продукта;

m – масса или выход готового продукта.

Модель можно расширять и дополнять с учетом воздействия технологических факторов на всех стадиях производственного процесса (начиная от ингредиентов и заканчивая готовым рационом).

Для определения сбалансированности разработанных рационов питания введем критерий результативности:

$$K = \sum_{i=1}^m a_i \left(1 - \sqrt{\sum_{j=1}^n z_{ij} \left(\frac{x_{ij}^0 - x_{ij}}{\Delta x_{ij}} \right)^2} \right), \quad (25)$$

где x_{ij}^0, x_{ij} – значение параметров j -го фактора i -й группы нормативного показателя после прохождения всех технологических стадий производственного процесса;

Δx_{ij} – допустимое отклонение параметра от прогнозного значения;

z_{ij} – весовой коэффициент отклонения j -го фактора i -й группы;

a_i – коэффициент значимости i -ой группы факторов.

При выходе параметра за пределы нормативного показателя или наличия какого-либо фактора критической группы критерий результативности обращается в нуль. При нахождении критических показателей в норме значение критерия результативности меняется, при полном совпадении получаемых значений с нормативным (эталонным) рассматривается как самый лучший, до 0 – при достижении границы уровня качества. Отрицательные значения критерия, выход за пределы областей определения качества рассматривается как рацион с неудовлетворяющими качественными показателями.

Приведенная математическая модель рецептурной оптимизации кулинарной и прочей продукции позволяет найти для каждой структурно-сложной суммы ингредиентов такой состав рецептурных компонентов, который будет удовлетворять физико-химическим требованиям стандартов и нормативов.

В процессе моделирования определяются соответствующие коэффициенты корреляции, и составляется сбалансированная структура преобразования входных данных в выходной продукт и рацион.

Задача многоступенчатая с выбором и уточнением структуры и оценкой влияния принятого решения на последующих этапах.

Считая, что каждому продукту однозначно соответствует определенная технология приготовления и сырьевое или ингредиентное обеспечение с учетом пищевой и биологической ценности, а также цены, оптимальная структура рациона питания будет обуславливать оптимальный выбор технологии и выбор пищевого сырья.

Таким образом, оптимальный вариант рациона, в наибольшей степени отвечающий прогнозным заданным свойствам, и соответствует максимальному значению критерию результативности K .

Значение результативности создаваемого рациона градуируется от 1 до 0, задается прогнозная шкала, соответствие которой определяется по нормативным показателям, оценивается следующим образом: 1-0,8 – отлично, рацион подобран идеально; 0,8-0,5 – хорошо; 0,5-0,2 – удовлетворительно; с положительным результатом можно рацион использовать, при

значении 0,2-0 – неудовлетворительно; при отрицательном значении критерия результативности, рацион непригоден к употреблению.

Выводы

1. В настоящее время все более актуальной становится задача разработки математических моделей, которые помогут рассчитать и оптимизировать пищевые рационы с высоким содержанием антирадикальных компонентов (АРП). По нашим оценкам, приходящимся на диапазон от 11 до 15 тыс. эквивалентов в сутки, в пересчете на аскорбиновую кислоту необходимо учитывать значения АРП пищевых систем, полученных на основе лабораторных и расчетных величин, самые большие из которых приходятся на свежие овощи и фрукты (от 47 до 174 ед.), что подтверждает необходимость увеличения растительного сырья в рационах.

2. Была создана система дифференциальных уравнений, которая позволяет определить отклонения значений необходимых пищевых веществ в разрабатываемых рационах питания. При этом учитываются значения пищевых веществ, потери при технологическом воздействии, антирадикальная активность компонентов, рецептурный состав и стоимость сырья (ингредиентов).

3. Было продемонстрировано, что можно подобрать оптимальный рацион питания, варьируя параметры процесса и учитывая все количественные и качественные изменения, включая алгоритм подбора оптимального рациона питания с повышенным антирадикальным потенциалом. При этом критерием оптимальности рациона считается попадание значений в градуированные диапазоны от 0,5 до 1.

Список источников

1. Беляева М. А. Многокритериальная оптимизация тепловой обработки мясных полуфабрикатов с использованием современных электрофизических методов нагрева. Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Русайнс», 2024. 244 с.

2. Золото Е. В. и др. Влияние стресса на организм человека / Е. В. Золото, С. А. Айкашев, В. Г. Воробьева, К. Э. Могилевская // Вестник скорой помощи. 2022. Т. 3. № 1. С. 10-18.

3. Gorbachev V. V. Artificial Neural Networks for Predicting Food Antiradical Potential / V. V. Gorbachev, D.A. Velina et al. // Applied Sciences (Switzerland). 2022. Vol. 12. No. 12. P. 6290.

4. Elizabeth L. Ultra-Processed Foods and Health Outcomes: A Narrative Review. / L. Elizabeth, P. Machado, M. Zinöcker, P. Baker, M. Lawrence // Nutrients. 2020. No. 12. P. 1955.

5. López-Sobaler A. M. Overweight and General and Abdominal Obesity in a Representative Sample of Spanish Adults: Findings from the ANIBES Study / A. M. López-Sobaler, A. Aparicio, J. Aranceta-Bartrina [et al.] // BioMed Research International. 2016. Vol. Overweight and General and Abdominal Obesity in a Representative Sample of Spanish Adults. Pp. 1-11.

6. Negre-Salvayre A. Pathological aspects of lipid peroxidation / A. Negre-Salvayre, N. Auge, V. Ayala [et al.] // Free Radical Research. 2010. Vol. 44. No. 10. Pp. 1125-1171.

7. Ottaway P. B. Food fortification and supplementation: technological, safety and regulatory aspects : Woodhead publishing in food, science, technology and nutrition. Food fortification and supplementation / ed. P. B. Ottaway. Boca Raton, Fla.: CRC Press [u.a.], 2008. 281 p.

8. Popkin B.M. Urbanization, lifestyle changes and the nutrition transition // World Dev. 1999. No. 27. P.1905-1916.

9. Popova A. Yu. On the new (2021) Norms of physiological requirements in energy and nutrients of various groups of the population of the Russian Federation / Russian Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, A. Yu. Popova, V. A. Tutelyan [et al.] // Problems of Nutrition. 2021. Vol. 90. No. 4. Pp. 6-19.

10. Poti J.M Ultra-processed Food Intake and Obesity: What Really Matters for Health-Processing or Nutrient Content? / J.M. Poti, B. Braga, B. Qin, // Curr. Obes. Rep. 2017. No. 6. Pp. 420-431.

References

1. Belyaeva M. A. Multicriteria optimization of heat treatment of semi-finished meat products using modern electrophysical heating methods. Moscow: Rusains Limited Liability Company, 2024, 244 p.
2. Zoloto E. V. et al. The effect of stress on the human body. E. V. Zolotoe, S. A. Aikashev, V. G. Vorobyeva, K. E. Mogilevskaya. Bulletin of the ambulance service, 2022, vol. 3, no. 1, pp. 10-18.
3. Gorbachev V. V. Artificial Neural Networks for Predicting Food Antiradical Potential. V. V. Gorbachev, D.A. Velina, et al. Applied Sciences (Switzerland), 2022, vol. 12, no. 12, p. 6290.
4. Elizabeth L. Ultra-Processed Foods and Health Outcomes: A Narrative Review. L. Elizabeth, P. Machado, M. Zinöcker, P. Baker, M. Lawrence. Nutrients, 2020, no. 12, p. 1955.
5. López-Sobaler A. M. Overweight and General and Abdominal Obesity in a Representative Sample of Spanish Adults: Findings from the ANIBES Study. A. M. López-Sobaler, A. Aparicio, J. Aranceta-Bartrina [et al.]. BioMed Research International, 2016, vol. Overweight and General and Abdominal Obesity in a Representative Sample of Spanish Adults, pp. 1-11.
6. Negre-Salvayre A. Pathological aspects of lipid peroxidation. A. Negre-Salvayre, N. Auge, V. Ayala [et al.]. Free Radical Research, 2010, vol. 44, no. 10, pp. 1125-1171.
7. Ottaway P. B. Food fortification and supplementation: technological, safety and regulatory aspects: Woodhead publishing in food, science, technology and nutrition. Food fortification and supplementation. Ed. P. B. Ottaway, Boca Raton, Fla.: CRC Press [u.a.], 2008, 281 p.
8. Popkin B.M. Urbanization, lifestyle changes and the nutrition transition. World Dev, 1999, no. 27, p.1905-1916.
9. Popova A. Yu. On the new (2021) Norms of physiological requirements in energy and nutrients of various groups of the population of the Russian Federation. Russian Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing. A. Yu. Popova, V. A. Tutelyan [et al.]. Problems of Nutrition, 2021, vol. 90, no. 4, pp. 6-19.
10. Poti J.M Ultra-processed Food Intake and Obesity: What Really Matters for Health-Processing or Nutrient Content? J.M. Poti, B. Braga, B. Qin. Curr. Obes. Rep, 2017, no. 6, pp. 420-431.

Информация об авторах

М.А. Беляева – доктор технических наук, профессор кафедры пищевых технологий и бионженерии;

В.В. Горбачев – аспирант; исследователь научно-исследовательской лаборатории «Биотехнологии пищевых систем» кафедры пищевых технологий и бионженерии.

Information about the authors

M.A. Belyaeva – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Food Technology and Bioengineering;

V.V. Gorbachev – Postgraduate student; researcher at the Research Laboratory «Biotechnology of Food Systems» of the Department of Food Technology and Bioengineering.

Научная статья

УДК 636.087.25

DOI 10.24888/2541-7835-2025-35-1-28-37

ТОРГОВЫЕ СЕТИ И ИХ ПОТРЕБИТЕЛИ С ПОЗИЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ ПИЩЕВЫХ ОТХОДОВ

Бондарчук Ольга Николаевна

Кузбасский государственный аграрный университет им. В.Н. Полецкого», Россия,

Кемерово

b120983@list.ru

Аннотация. Проблема пищевых отходов является одной из наиболее значимых в мире не только с экономической, но и экологической точки зрения. Отходы являются источником метана и способствуют развитию опасных микроорганизмов. Целью настоящего исследования являлся анализ количества пищевых отходов и их качественного состава, образующихся в торговых сетях и в домохозяйствах. Для достижения поставленной цели были составлены анкеты и проведен опрос – в секторе домохозяйства было опрошено 400 семей; в секторе торговых сетей - опрос представителей основных торговых сетей города Новосибирска, в котором участвовали менеджеры среднего звена предприятий. Анкеты обрабатывались в программе Microsoft Excel. По результатам опроса установлено, что в небольших продуктовых магазинах, дискаунтерах, супермаркетах и гипермаркетах количество отходов в год составляет в среднем 3,2 т/год; 50 т/год; 68 т/год и 307 т/год соответственно. При этом большая доля отходов приходится на фрукты и хлебобулочные изделия – 24-26%, что обусловлено их низкими сроками хранения. В домохозяйствах на одну семью приходится 82,4 кг отходов в год, а на одного человека - 29,9 кг в год. Большая часть пищевых отходов (47,6%) приходится на углеводные продукты (хлебобулочные и кондитерские изделия, овощи, каши, сухофрукты, фрукты и др.), остальная часть – белковые и жировые продукты делится приблизительно пополам. Обобщенный анализ пищевых отходов, которые образуются в торговых сетях и в быту потребителей позволил установить, что наибольшая доля отходов приходится на углеводные – порядка 53%, на втором месте белковые отходы – 27%, на последнем месте – жировые (20%). Наибольшее количество отходов образуется в торговых сетях - 17,23 млн тонн в год, наименьшее - в домохозяйствах - 4,37 млн тонн в год.

Ключевые слова: пищевые отходы, количественный анализ, качественный состав, торговые сети, домохозяйства

Для цитирования: Бондарчук О.Н. Торговые сети и их потребители с позиции образования пищевых отходов // Агропромышленные технологии Центральной России. 2025. № 1(35). С. 28-37. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2025-35-1-28-37>.

Original article

RETAIL CHAINS AND THEIR CONSUMERS FROM AN EDUCATIONAL PERSPECTIVE FOOD WASTE

Olga N. Bondarchuk

Kuzbass State Agricultural University, Kemerovo, Russia

b120983@list.ru

Abstract. The problem of food waste is one of the most significant in the world, not only from an economic point of view, but also from an environmental point of view. Waste is a source of methane and contributes to the development of dangerous microorganisms. The purpose of this study was to analyze the amount of food waste and its qualitative composition generated in retail chains and in households. To achieve this goal, questionnaires were compiled and a survey was conducted – 400 families were interviewed in the household sector; in the retail chain sector, a survey of representatives of the main retail chains of the city of Novosibirsk, in which middle managers of enterprises participated. The questionnaires were processed in Microsoft Excel. According to the results of the survey, it was found that in small grocery stores, discounters,

supermarkets and hypermarkets, the amount of waste per year averages 3.2 tons/year; 50 tons/year; 68 tons/year and 307 tons/year, respectively. At the same time, a large proportion of waste falls on fruits and bakery products – 24-26%, due to their low shelf life. There are 82.4 kg of waste per household per year, and 29.9 kg per person per year. Most of the food waste (47.6%) falls on carbohydrate products (bakery and confectionery products, vegetables, cereals, dried fruits, fruits, etc.), the rest – protein and fat products are divided approximately in half. A generalized analysis of food waste generated in retail chains and in the household of consumers allowed us to establish that the largest share of waste is carbohydrate – about 53%, protein waste is in second place – 27%, fat waste is in last place (20%). The largest amount of waste is generated in retail chains - 17.23 million tons per year, the smallest - in households - 4.37 million tons per year.

Keywords: food waste, quantitative analysis, qualitative composition, retail chains, households

For citation: Bondarchuk O.N. Retail chains and their consumers from an educational perspective food waste. *Agro-industrial technologies of Central Russia*, 2025, no. 1(35), pp. 28-37. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2025-35-1-28-37>.

Введение

За последние десятилетия наблюдается значительный рост индустриального производства и строительства новых заводов, что в свою очередь приводит не только к усилению антропогенного воздействия человека на природу, но и делает это воздействие более разнообразным. Ухудшение экологической обстановки является одной из важнейших проблем человечества. Частным случаем указанной глобальной проблемы является накопление пищевых отходов [13].

На рис. 1 приведена динамика образования пищевых отходов в России с 2018г. по 2022 г. Из графика следует, что с 2018 г. прослеживается постоянный рост количества пищевых отходов, исключение составляет лишь 2020 г., когда произошла вспышка пандемии COVID-19. Если сравнивать 2018 г. и 2022 г., то количество пищевых отходов увеличилось на 19,4%.

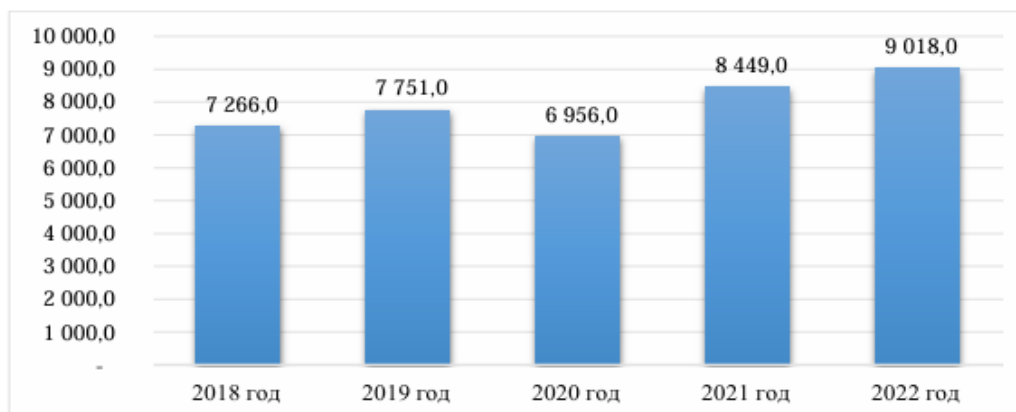


Рисунок 1. Динамика образования пищевых отходов в России 2018-2022 г.г., млн. т. [7]

С целью сокращения количества пищевых отходов разработано множество методов: раздельный сбор мусора и его сортировка [7], сбыт фермерским хозяйствам, передача в приюты для бездомных людей на безвозмездной основе [4], использование мобильных приложений [1, 8], проведение всевозможных акций на торговых предприятиях, принятие законов о запрете выбрасывать непроданные продукты питания до окончания сроков годности [9], совершенствование упаковки, техники и технологий хранения продуктов [3, 10, 11], фудшеринг [2].

Сокращение пищевых отходов наряду с запретом на захоронение и раздельным сбором является одной из задач по управлению пищевыми отходами, решаемой на федеральном уровне. По статистическим данным, количество пищевых отходов на одного человека составляет 30 кг в год. При этом качественный состав отходов и их количество непостоянно и зависит от множества факторов: времени года, места проживания и др. Приблизительное соотношение категорий пищевых отходов в России представлено на рис. 2 [6].



Рисунок 2. Состав пищевых отходов в России [6]

Однако мало исследований по поводу того, какие действия предпринимают менеджеры предприятий в России для решения проблемы пищевых отходов. Кроме того, мало информации по качественному составу пищевых отходов, образующихся в домохозяйствах и торговых сетях [12]. Таким образом, необходимо изучить данный вопрос и установить влияние различных факторов на количественный и качественный состав пищевых отходов, образующихся в указанных выше источниках.

Цель исследования – произвести анализ количества пищевых отходов и их качественного состава, образующихся в торговых сетях и в домохозяйствах.

Задачи:

- установить количество пищевых отходов, образующихся в домохозяйствах, торговых сетях; провести качественный анализ пищевых отходов;
- произвести обобщающий анализ количества пищевых отходов по всей России.

Материалы и методы исследований

Исследования проводились на базе лаборатории кафедры «Биотехнологий и производства продуктов питания» ФГБОУ ВО Кузбасского государственного аграрного университета им. В.Н. Полецкого в 2024 г.

Для проведения исследований было проведено анкетирование представителей торговых сетей и домохозяйств.

В опросе представителей торговых сетей участвовали менеджеры среднего звена предприятий. Длительность интервью составляла в среднем 40-60 мин. Опрос проводился по анкете.

В табл. 1 приведена структура проведенного опроса.

Таблица 1. Структура проведенного опроса представителей основных торговых предприятий г. Новосибирск

Вид торгового предприятия	Площадь, м ²	Шифр	Количество исследованных торговых предприятий
Супермаркеты	250-1200	С	8
Гипермаркеты	4000-8000	Г	4
Дискаунтеры	400-1200	Д	5
Небольшие продуктовые магазины «у дома»	50-230	ПМ	12

Вопросы интервью были разработаны таким образом, чтобы охватить три основные предметные области: общие знания о масштабах образования пищевых отходов в секторе продуктовой розничной торговли; текущие и будущие подходы к управлению пищевыми отходами на конкретном предприятии; роль в этом корпоративной политики, поставщиков, персонала и потребителей.

Для проведения анализа в секторе домохозяйств было проведено анкетирование семей в 4 городах: Кемерово, Москва, Томск и Новосибирск. Всего было опрошено 400 семей – по 100 семей на каждый город.

В анкете нужно было ответить на ряд вопросов, касающихся социально-демографических данных (состав семьи, количество членов семьи, количество детей, возраст взрослых членов семьи), а также на вопросы, затрагивающие тему пищевых отходов. Далее в течение двух недель респондентам нужно было отмечать в анкете образующиеся пищевые отходы: их вид, количество и причину возникновения данных отходов.

Методы. Данные анкет обрабатывались в приложении Excel для подсчета статистики. Для обработки данных анкет домохозяйств была составлена расчетная матрица, структура которой представлена в табл. 2.

Таблица 2. Структура расчетной матрицы

А	В	С	Д	Е	Ф	Г	Н
База угле- воды	База белки	База жи- ры	-	-	-	-	-
Вид пи- щевых отхода	Количество (вес) (на- пример, ≈ 100 г)	Отформ. значение	Удаление ошибок	Поиск в базе	Удаление ошибок	Присвоение веса отхо- дов	Удаление ошибок
Каша овсяная	100 г	=ЗНАЧЕНИЕ (ЛЕВСИМВ(В3;3))	=ЕСЛИ ОШИБКА (С3;0)	=ПОИСК (А3;\$А\$1)	=ЕСЛИ ОШИБКА (Е3;0)	=ЕСЛИ (F3>1;D3;0)	=ЕСЛИ ОШИБКА (G3;0)

В ячейки А1, В1 и С1 внесены списки продуктов, относящихся к тем или иным категориям – углеводные, белковые и жировые. Столбец С предназначен для перевода массы отходов в числовой формат. Столбец Е необходим для поиска данного отхода по базе в ячейках А1, В1 и С1. В таблице приведен пример для углеводных отходов. В случае, если название отхода присутствует в базе данных, то данной ячейке присваивается порядковый номер найденного отхода в базе поиска. Столбец Г сравнивает значение столбца Е – если оно больше 1, то это значит, что отход присутствует в базе поиска, и в этом случае ячейке присваивается вес отхода из столбца Д. В противном случае ячейке присваивается 0. Столбцы Д, Ф и Г служат для устранения ошибок: если они по каким-либо причинам возникают (например, вес отхода был указан не в формате граммов, а в штуках), то ячейке присваивается значение 0. В таком случае вес отхода указывается вручную. Данная расчетная матрица была составлена для всех 3 категорий продуктов.

Результаты исследований и их обсуждение

На рис. 3 приведены графики площади магазинов и количество образующихся отходов в год.

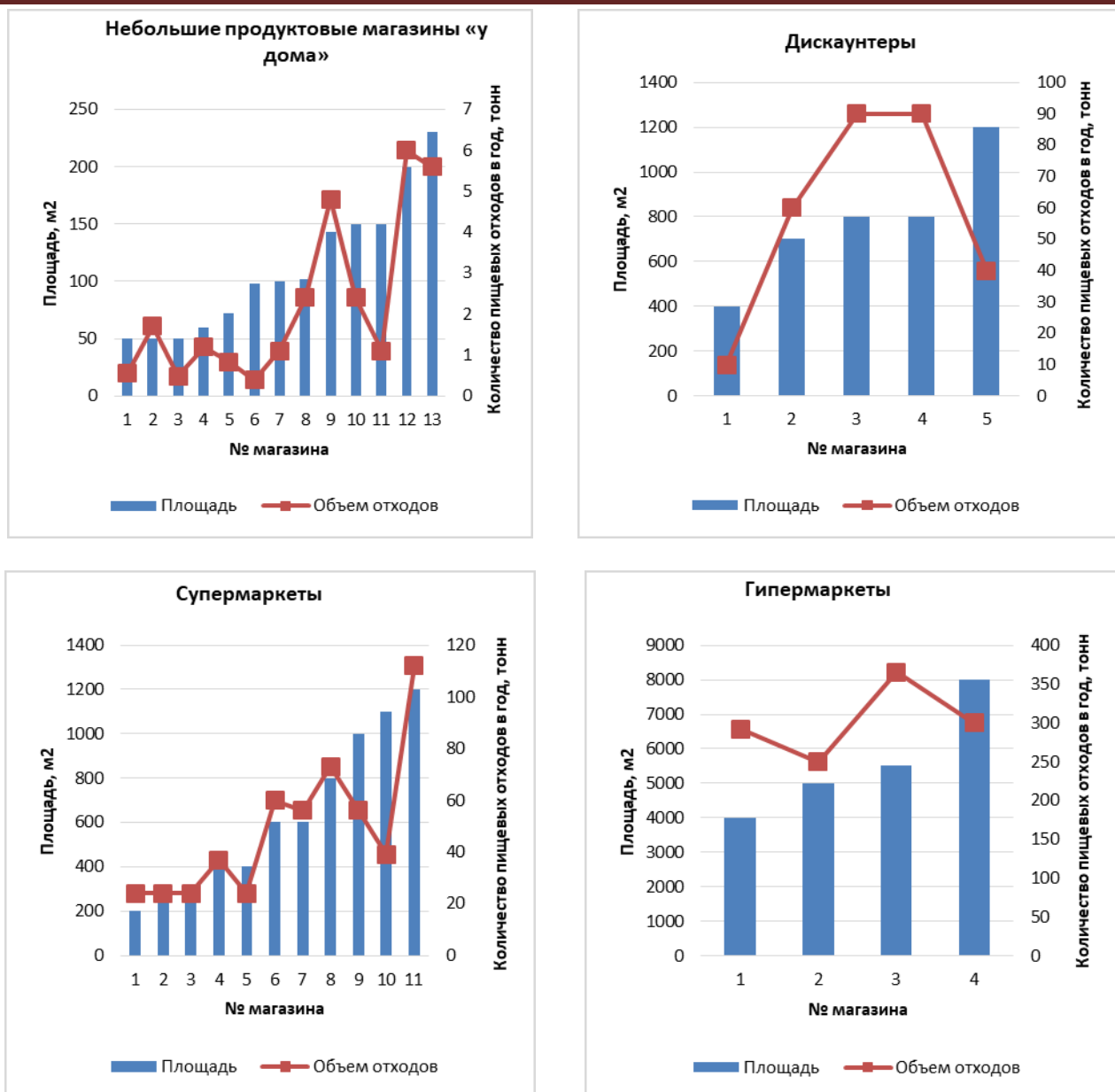


Рисунок 3. Графики площади магазинов и количество образующихся отходов в год

В ходе опроса была также получена информация о качественном составе пищевых отходов. Они были поделены на несколько групп:

- фрукты и овощи;
- хлебобулочные изделия;
- кулинария;
- мясо;
- рыба и морепродукты;
- другое.

В категорию «Другое» попадают также и молочные продукты.

На рис. 4 приведены графики среднеарифметического распределения категорий отходов среди исследованных торговых предприятий.

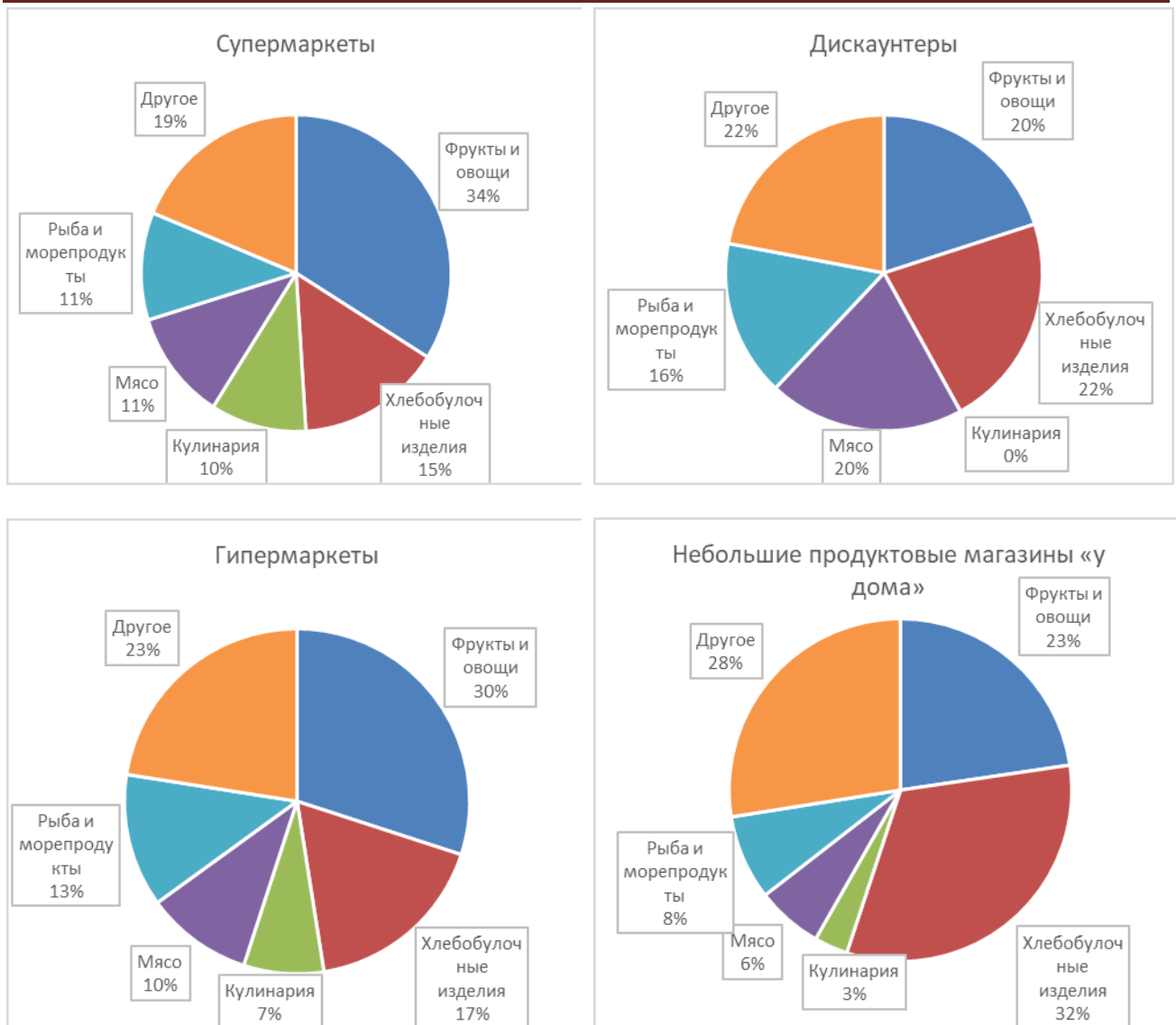


Рисунок 4. Распределение пищевых отходов по категориям среди торговых предприятий

На рис. 5 приведен график распределения количества отходов в неделю на одну семью по диапазонам значений.

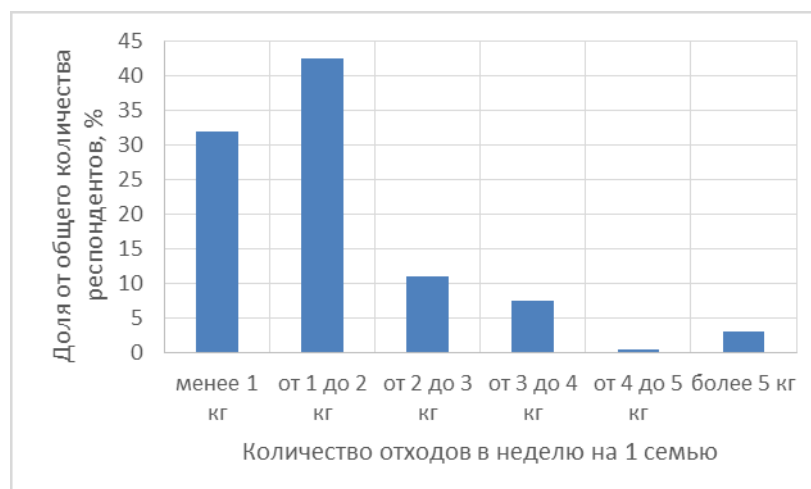


Рисунок 5. График распределения количества отходов семей по диапазонам

Диаграмма распределения пищевых отходов домохозяйств по составу представлена на рис. 6.

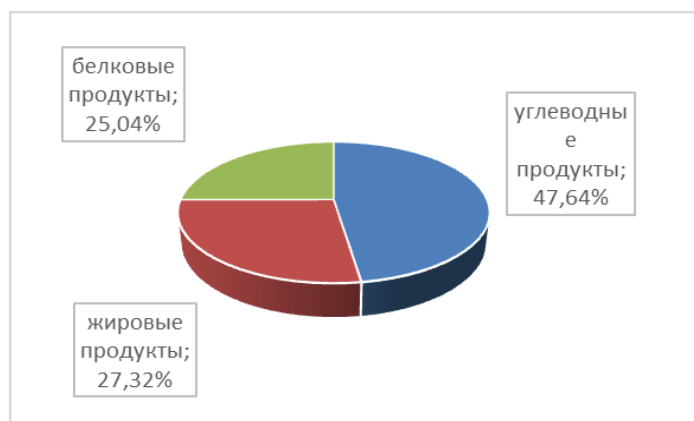


Рисунок 6. Диаграмма распределения пищевых отходов домохозяйств по составу

Результаты опроса респондентов торговых сетей показали, что количество пищевых отходов магазинов «у дома» составляет порядка 0,4-6,0 т/год. Дискаунтеры ввиду большей площади помещений и объемов торговли характеризуются гораздо большим значением пищевых отходов – от 10 до 90 т/год. У супермаркетов и гипермаркетов это значение составило соответственно 24-112 т/год и 250-365 т/год. Установлена прямая зависимость между площадью магазина и количеством отходов. Она наблюдалась в большинстве случаев и наиболее явно проявлялась у супермаркетов.

Качественная оценка пищевых отходов торговых сетей показала приблизительно одинаковое распределение между категориями отходов среди супермаркетов, дискаунтеров и гипермаркетов. Наибольшее количество пищевых отходов в гипермаркетах и супермаркетах приходится на категорию «фрукты и овощи» - доля отходов в этой категории составила около 30%. Что касается магазинов «у дома», то у них большая часть отходов наблюдается в категории «хлебобулочные изделия».

Было получено следующее среднеарифметическое распределение количества пищевых отходов в торговых сетях в порядке убывания:

- фрукты и овощи - 26%;
- хлебобулочные изделия - 24%;
- другие изделия - 23%;
- мясо - 11%;
- рыба и морепродукты - 11%;
- кулинария - 5%.

Фрукты и овощи вместе с хлебобулочными изделиями выбрасываются гораздо чаще, что обусловлено их быстрой порчей. Что касается мясных и рыбных продуктов, то они хранятся по большей части в замороженном состоянии, что обуславливает их малый объем отходов.

По результатам собранных анкет домохозяйств, порядка 40% семей образует 1-2 кг пищевых отходов неделю. Одна семья образует в среднем 1,58 кг пищевых отходов в неделю, что эквивалентно 82,4 кг отходов в год. Указанное значение может существенно отличаться в различных семьях.

По качественному составу пищевых отходов домохозяйств было выявлено следующее: большая часть отходов составляют углеводные продукты – порядка 48%. Доля белковых и жировых продуктов составила 25 и 27% соответственно. Такое соотношение вызвано спецификой рациона населения, где преобладающим компонентом являются углеводные продукты, а отношение белков к жирам приблизительно 8:10 [5].

Путем деления годового объема отходов на среднее количество людей в семьях было рассчитано годовое количество отходов на человека, которое составило 27,4 кг в год.

Последним этапом являлся обобщающий анализ количества пищевых отходов по всей России. Для этой цели были использованы данные из открытых источников по количеству предприятий торговли и количеству населения России, которые умножались на полученные ранее данные. Составлены обобщающие графики количества пищевых отходов по различным категориям в домохозяйствах и в торговых сетях, представленные на рис. 7.

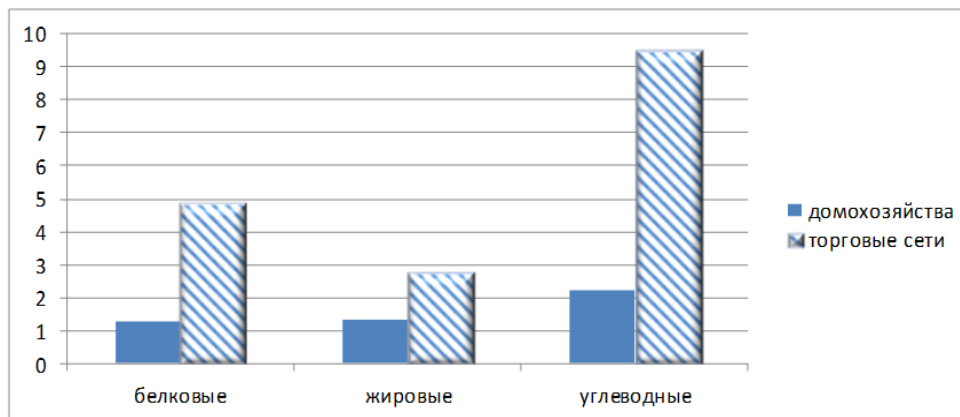


Рисунок 7. Обобщающая оценка количества пищевых отходов по категориям в России

Из приведенных данных следует, что на первом месте по количеству отходов находятся торговые сети. Суммарное количество отходов в них составляет 17,23 млн. тонн в год. На втором месте находятся домохозяйства (4,37 млн. тонн в год). При этом среднее распределение между белковыми, жировыми и углеводными отходами следующее:

- белковые – 26%
- жировые – 23%
- углеводные – 51%.

Выводы

В результате проведенной работы были получены следующие выводы:

1. Установлено количество пищевых отходов, образующихся в торговых сетях в зависимости от площади торговой сети, оно составляет в среднем от 3,2 (магазины «у дома») до 307 (гипермаркеты) тонн/год. В домохозяйствах одна семья образует в среднем 1,58 кг пищевых отходов в неделю, что эквивалентно 82,4 кг отходов в год.

2. Проанализирован качественный состав отходов по категориям – белковые, жировые и углеводные. Установлено, что преобладающим компонентом пищевых отходов являются углеводные продукты – свыше 50%, доля белковых и жировых продуктов составила 23 и 27% соответственно. Фрукты и овощи (26%) вместе с хлебобулочными изделиями (5%) выбрасываются гораздо чаще, что обусловлено их быстрой порчей.

3. Произведен обобщающий анализ количества пищевых отходов по всей России, который показал, что на первом месте по количеству отходов находятся торговые сети. Суммарное количество отходов в них составляет 17,23 млн. тонн в год. На втором месте находятся домохозяйства (4,37 млн. тонн в год). При этом, среднее значение компонентов пищевых отходов составило: углеводных – 51%, жировых – 23%, белковых – 26%

Список источников

1. Агджоян Е.Г. Особенности платформ для продаж излишков продуктов питания в России и за рубежом // Российский электронный научный журнал. 2021. № 3 (41). С. 77-82.
2. Воротынцев Н.Э. и др. Обзор предметного поля решений по предотвращению образования отходов и экологизации пищевых систем / Н.Э. Воротынцев, А.Л. Кузнецов, Е.Ю. Князев, Д.И. Быстров, О.А. Суворов // Известия Дагестанского ГАУ. 2023. № 4 (20). С. 174-182.

3. Горбунова Н.А., Туниева Е.К. Риски и безопасность использования нанотехнологий пищевых продуктов: обзор // Теория и практика переработки мяса. 2016. Т. 1. №3. С. 35-47.
4. Давыдова О.А. Учет и рациональное использование пищевых отходов // Развитие финансовых отношений в циркулярной экономике. 2021. С. 340-343.
5. Евстратова В.С., Раджабканиев Р.М., Ханферьян Р.А. Структура потребления макронутриентов населением различных регионов Российской Федерации // Вопросы питания. 2018. Т.87. №2. С. 34-37.
6. Жустерова П.К. Проблемы утилизации пищевых отходов в России. Поиск наиболее эффективного метода решения // Альманах научных работ молодых учёных университета ИТМО. 2021. С. 137-139.
7. Иванова В.В. Пищевые отходы как фактор SOS // Твердые бытовые отходы. 2015. № 3 (105). С. 46-47.
8. Майорова А.П., Носалик К.С. Разработка программного приложения-помощника для сокращения количества пищевых отходов // Ломоносов-2020. 2020. С. 22-23.
9. Серова Е., Галактионова Е. Сокращение потерь продовольствия и пищевых отходов // Молочная промышленность. 2016. № 11. С. 41-42.
10. Berketova L.V., Bezuglaya N.A. Application of nanotechnology in the food industry // Science in the modern world: theory and practice. 2016. No. 1. Pp. 86-88.
11. Chinda T., Thay S. Long-term food waste management in Phnom Penh utilizing a system dynamics modeling approach // Environmental Engineering Research. 2020. Vol. 27. No. 1. P. 200603.
12. Filimonau V. The prospects of waste management in the hospitality sector post COVID-19. Resources, Conservation and Recycling. Vol. 168. 2021. P. 105272.
13. Kumar V. et al. Emerging challenges for the agro-industrial food waste utilization: a review on food waste biorefinery / V. Kumar, N. Sharma, M. Umesh, M. Selvaraj, B.M. Al-Shehri, P. Chakraborty, L. Duhan, Sh. Sharma, R. Pasrija, M.K. Awasthi, S.R. Lakkaboyana, R. Andler, A. Bhatnagar, S.S. Maitra // Bioresource Technology. 2022. Vol. 362. Pp. 127790.

References

1. Agjoyan E.G. Features of platforms for selling surplus food in Russia and abroad. Russian electronic Scientific Journal, 2021, no. 3 (41), pp. 77-82.
2. Vorotyntsev N.E. et al. An overview of the subject field of solutions for waste generation prevention and greening of food systems. N.E. Vorotyntsev, A.L. Kuznetsov, E.Y. Knyazev, D.I. Bystrov, O.A. Suvorov. News Dagestan SAU, 2023, no. 4 (20), pp. 174-182.
3. Gorbunova N.A., Tuniyeva E.K. Risks and safety of using food nanotechnology: an overview. Theory and practice of meat processing, 2016, vol. 1, no. 3, pp. 35-47.
4. Davydova O.A. Accounting and rational use of food waste. Development of financial relations in the circular economy, 2021, pp. 340-343.
5. Evstratova V.S., Radzhabkadiyev R.M., Khanferyan R.A. The structure of macronutrient consumption by the population of various regions of the Russian Federation. Nutrition issues, 2018, vol. 87, no. 2, pp. 34-37.
6. Zhusterova P.K. Problems of food waste disposal in Russia. The search for the most effective solution method. Almanac of scientific papers of young scientists of ITMO University, 2021, pp. 137-139.
7. Ivanova V.V. Food waste as an SOS factor. Solid household waste, 2015, no. 3 (105), pp. 46-47.
8. Mayorova A.P., Nosalik K.S. Development of an assistant software application to reduce the amount of food waste. Lomonosov-2020, 2020, pp. 22-23.
9. Serova E., Galaktionova E. Reduction of food losses and food waste. Dairy industry, 2016, no. 11, pp. 41-42.
10. Berketova L.V. Application of nanotechnology in the food industry. L.V. Berketova, N.A. Bezuglaya. Science in the modern world: theory and practice, 2016, no. 1, pp. 86-88.

11. Chinda T., Thay S. Long-term food waste management in Phnom Penh utilizing a system dynamics modeling approach. *Environmental Engineering Research*, 2020, vol. 27, no. 1, p. 200603.
12. Filimonau V. The prospects of waste management in the hospitality sector post COVID-19. *Resources, Conservation and Recycling*, 2021, vol. 168, p. 105272.
13. Kumar V. et al. Emerging challenges for the agro-industrial food waste utilization: a review on food waste biorefinery. V. Kumar, N. Sharma, M. Umesh, M. Selvaraj, B.M. Al-Shehri, P. Chakraborty, L. Duhan, Sh. Sharma, R. Pasrija, M.K. Awasthi, S.R. Lakkaboyana, R. Andler, A. Bhatnagar, S.S. Maitra. *Bioresource Technology*, 2022, vol. 362, pp. 127790.

Информация об авторе

О.Н. Бондарчук – ассистент кафедры биотехнологий и производства продуктов питания.

Information about the author

O.N. Bondarchuk – Assistant at the Department of Biotechnology and Food Production.

Научная статья

УДК 66.047.3.049.6

DOI 10.24888/2541-7835-2025-35-1-38-48

ВАКУУМНАЯ СУШКА ПЧЕЛИНОГО МАТОЧНОГО МОЛОЧКА

Ермолаев Владимир Александрович

Кузбасский государственный аграрный университет им. В.Н. Полецкого, Кемерово, Россия
ermolaevvla@rambler.ru

Аннотация. Пчелиное маточное молочко по своему влагосодержанию относится к продуктам с промежуточной влажностью. В экспериментах использовалось маточное молочко с массовой долей влаги 67,3 %. Опыты по вакуумной сушке маточного молочка проводили при температурах 30, 35, 40 и 45 °С. Остаточное давление при этом составляло 4 кПа, плотность теплового потока – $6 \pm 0,5$ кВт/м², а толщина слоя продукта – 10 мм. Установлено, что вакуумную сушку пчелиного маточного молочка необходимо проводить при температуре 35 °С. Для подбора остаточного давления вакуумной сушки пчелиного маточного молочка использовали подобранную температуру нагрева в 35 °С, а остаточное давление составляло 2, 3 и 4 кПа. Выше давление устанавливать нецелесообразно, поскольку при этом не будет обеспечиваться кипение влаги. При сушке с толщиной слоя 5 мм наблюдалось наименьшее влагосодержание, которое составило от 4,6 до 5,3 % в зависимости от плотности теплового потока. Увеличение толщины до 10-20 мм обуславливает увеличение массовой доли влаги до 5,1-5,9 %. Установлено, что с увеличением толщины слоя сушки наблюдается снижение органолептической оценки, что особенно проявляется для такого показателя, как консистенция. Также обнаружено, что наибольшие качественные показатели приходятся на плотность теплового потока 4 кВт/м². Исходя из соображений по сохранению качества продукта, рекомендуется обезвоживать пчелиное маточное молочко при толщине слоя 5 мм и плотности теплового потока 4 кВт/м². Это обеспечивает органолептическую оценку в 37 баллов из 40.

Ключевые слова: вакуумная сушка, пчелиное маточное молочко, температура, плотность теплового потока, толщина слоя

Для цитирования: Ермолаев В.А. Вакуумная сушка пчелиного маточного молочка // Агропромышленные технологии Центральной России. 2025. № 1(35). С. 38-48. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2025-35-1-38-48>.

Original article

VACUUM DRYING OF ROYAL JELLY

Vladimir A. Ermolaev

Kuzbass State Agricultural University, Kemerovo, Russia
ermolaevvla@rambler.ru

Abstract. Royal jelly is classified as an intermediate moisture product by its moisture content. Royal jelly with a moisture content of 67.3 % was used in the experiments. Royal jelly vacuum drying experiments were conducted at temperatures of 30, 35, 40 and 45 °C. The residual pressure was 4 kPa, the heat flux density was 6 ± 0.5 kW/m², and the product layer thickness was 10 mm. It was found that royal jelly vacuum drying should be conducted at a temperature of 35 °C. To select the residual pressure for royal jelly vacuum drying, a selected heating temperature of 35 °C was used, and the residual pressure was 2, 3 and 4 kPa. It is impractical to set the pressure higher, since this will not ensure boiling of the moisture. When drying with a layer thickness of 5 mm, the lowest moisture content was observed, which amounted to 4.6 to 5.3 % depending on the heat flux density. An increase in the thickness to 10-20 mm causes an increase in the mass fraction of moisture to 5.1-5.9 %. It was found that with an increase in the thickness of the drying layer, a decrease in the organoleptic assessment is observed, which is especially evident for such an indicator as consistency. It was also found that the highest quality indicators fall on the heat flux density of 4 kW/m². Based on considerations of preserving the quality of the product, it is recommended to dehydrate royal jelly at a layer thick-

ness of 5 mm and a heat flux density of 4 kW/m². This provides an organoleptic assessment of 37 points out of 40.

Keywords: vacuum drying, royal jelly, temperature, heat flux density, layer thickness

For citation: Ermolaev V.A. Vacuum drying of royal jelly. *Agro-industrial technologies of Central Russia*, 2025, no. 1(35), pp. 38-48. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2025-35-1-38-48>.

Введение

Маточное молочко представляет собой секрет аллотрофических желез рабочих пчел. Это вещество пчелы носят в маточник – особую восковую капсулу, в которой находится яйцо будущей пчелиной матки. Благодаря своему особому сбалансированному составу пчелиное маточное молочко обладает уникальными фармакологическими свойствами.

Благоприятное действие от употребления маточного молочка было открыто еще в древности. В средние века из-за сложностей получения данного продукта он стоило очень дорого, и позволить его себе могли только короли и состоятельные князья. Однако даже сейчас пчелиное маточное молочко не может стоить дешево по определению. Ведь для сбора всего 1 грамма указанного вещества необходимо обработать 3-5 маточников. При этом маточное молочко пчелы выделяют только в определенный период года.

По внешнему виду маточное молочко представляет непрозрачную густоватую жидкость молочно-белого или кремового оттенка. Вкус у данного вещества – кисловатый с острым привкусом.

В пчелином маточном молочке находится свыше 400 полезных веществ, благоприятно действующих на различные функции организма человека. Из всех известных биологически-активных продуктов маточное молочко является одним из лучших продуктов по степени сбалансированности микроэлементов.

Массовая доля сухих веществ в маточном молочке составляет 30-40%. Из них белки составляют 10-50%, минеральные вещества – 0,7-1,5%, содержание углеводов и липидов составляет порядка 15-40% и 2-10% соответственно.

Пчелиное маточное молочко по своему влагосодержанию относится к продуктам с промежуточной влажностью. В экспериментах использовалось маточное молочко с массовой долей влаги 67,3 % [1, 2].

Особая биологическая ценность указанного продукта, а также его дороговизна обуславливают необходимость в применении таких методов сушки, которые бы характеризовались минимальным температурным воздействием на термолабильные вещества. Поэтому температура нагрева в экспериментах не превышала 45 °С [3, 4, 5, 12].

Целью данной работы является исследование процессов вакуумной сушки пчелиного маточного молочка.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2024 г. на кафедре биотехнологий и производства продуктов питания Кузбасского государственного аграрного университета им. В.Н. Полецкого.

Объектом исследований являлось пчелиное маточное молочко. Опыты по вакуумной сушке маточного молочка проводили при температурах 30, 35, 40 и 45 °С. Остаточное давление при этом составляло 4 кПа, плотность теплового потока – 6±0,5 кВт/м², а толщина слоя продукта – 10 мм [6, 7, 8, 9].

Показатели качества пчелиного маточного молочка оценивали согласно ГОСТ 28888-90. Экспериментальные исследования по вакуумной сушке маточного молочка проводили на специально сконструированной сушильной установке.

Результаты исследований и их обсуждение

На рис. 1-4 приведены графики изменения влагосодержания и температуры в толще продукта при различной установленной температуре сушки.

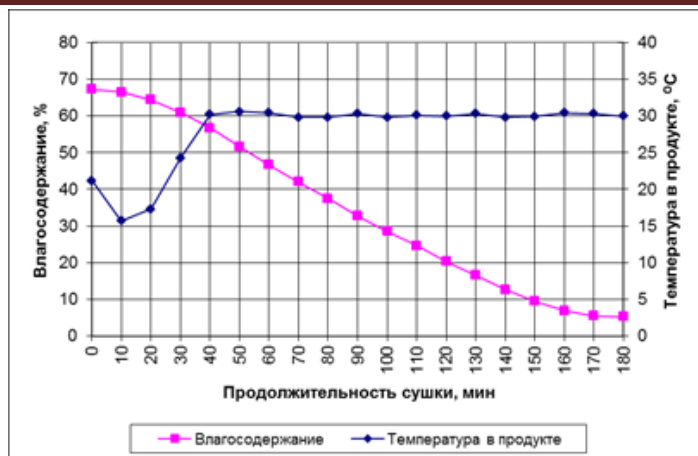


Рисунок 1. Графики вакуумной сушки пчелиного маточного молочка при температуре нагрева 30 °C

При температуре 30 °C продукт прогревается через 40 мин. после начала процесса сушки. Продолжительность обезвоживания в данном случае составила 180 мин.

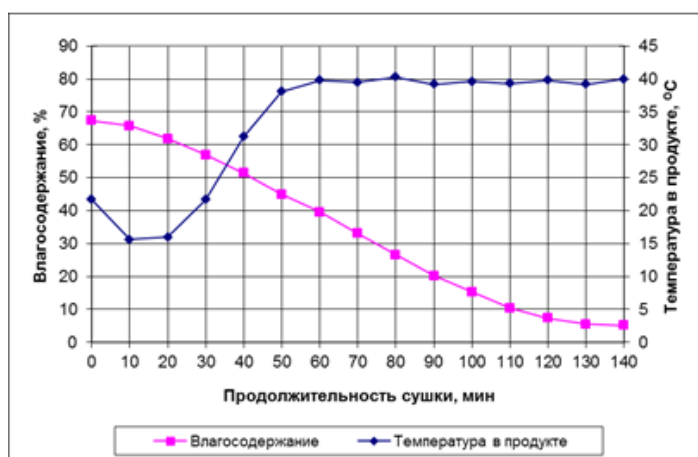


Рисунок 2. Графики вакуумной сушки пчелиного маточного молочка при температуре нагрева 35 °C

Увеличение температуры нагрева до 35 и 40 °C влечет за собой снижение продолжительности вакуумной сушки до 160 и 140 мин. соответственно.

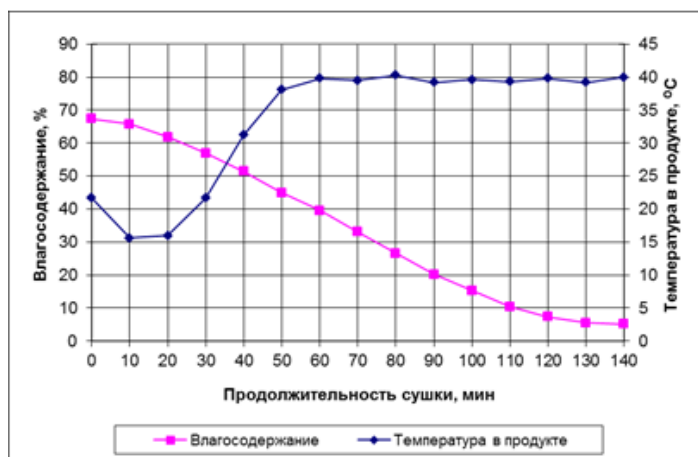


Рисунок 3. Графики вакуумной сушки пчелиного маточного молочка при температуре нагрева 40 °C

При температуре сушки 40 °С влагосодержание сухого маточного молочка было равно 4 % также как и при температурах сушки 30 и 35 °С.

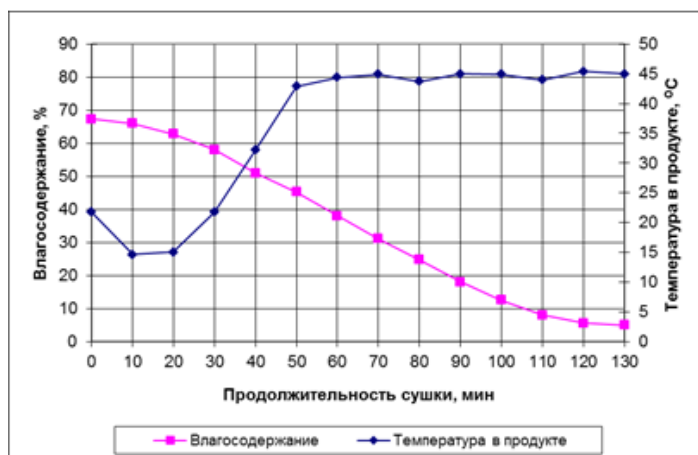


Рисунок 4. Графики вакуумной сушки пчелиного маточного молочка при температуре нагрева 45 °С

Сушка с температурой 45 °С характеризовалась наименьшей продолжительностью в 130 мин. Массовая доля влаги в сухом продукте была равна 4,8-5,3 % [10, 11].

По полученным данным были разработаны математические уравнения, описывающие зависимость влагосодержания маточного молочка от продолжительности вакуумной сушки при различной температуре:

- при температуре сушки 30 °С:

$$c = 0,0004\tau^2 - 0,472\tau + 72,16; R^2 = 0,9912, \quad (1)$$

- при температуре сушки 35 °С:

$$c = 0,0006\tau^2 - 0,545\tau + 72,90; R^2 = 0,9879, \quad (2)$$

- при температуре сушки 40 °С:

$$c = 0,0007\tau^2 - 0,613\tau + 71,97; R^2 = 0,9872, \quad (3)$$

- при температуре сушки 45 °С:

$$c = 0,0004x^2 - 0,602x + 72,17; R^2 = 0,9854, \quad (4)$$

Результаты органолептической оценки сухого маточного молочка приведены в табл. 1.

Таблица 1. Органолептическая оценка сухого маточного молочка при подборе температуры вакуумной сушки

Показатель	Температура сушки, °С			
	30	35	40	45
Вкус	9	9	8	8
Цвет	10	9	9	8
Консистенция	8	9	8	8
Запах	9	8	8	8
Итого	36	35	33	32

Установлено, что повышение температуры сушки от 30 до 45 °С снижает органолептическую оценку на 4 балла. Максимальные качественные характеристики наблюдались при температуре сушки 30 °С – органолептическая оценка при этом была равна 36 баллам из 40.

Энергетические затраты на сушку маточного молочка представлены в виде графиков на рис. 5.

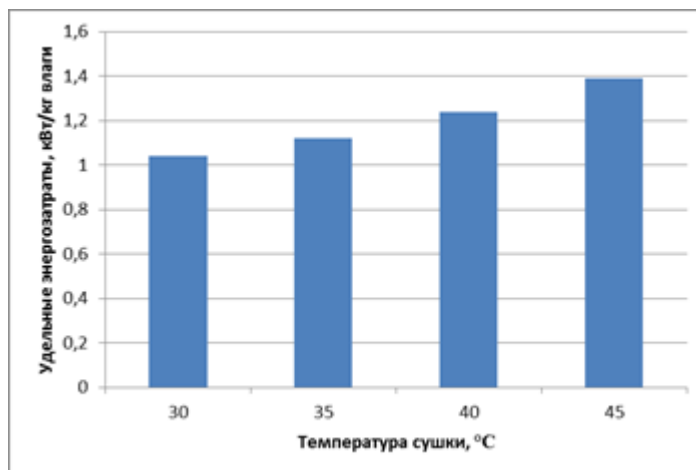


Рисунок 5. Зависимость энергетических затрат на сушку маточного молочка от температуры нагрева

С повышением температуры, несмотря на сокращение продолжительности сушки, энергозатраты возрастают. Так, при увеличении температуры нагрева от 30 до 45 °C энергозатраты увеличиваются на 30 %.

В рамках исследований был проведен анализ химического состава пчелиного маточного молочка до и после сушки (табл. 2).

Таблица 2. Анализ химического состава пчелиного маточного молочка до и после сушки

Компонент	До сушки	После сушки при температуре нагрева			
		30 °C	35 °C	40 °C	45 °C
Вода, %	67,3	5,3	5,2	5,0	4,8
Белки, %	15,3	41,3	41,4	39,6	36,2
Жиры, %	3,2	8,4	8,3	8,1	8,2
Углеводы, %	13,3	35,3	34,9	35,0	34,7
Зола, %	0,9	2,4	2,5	2,4	2,4
Тиамин, мкг/1 г	9,4	25,5	24,7	24,3	22,6
Рибофлавин, мкг/1 г	24,8	66,2	64,2	61,9	55,3
Пиридоксин, мкг/1 г	31,0	83,1	82,0	81,3	72,4
Никотиновая кислота, мкг/1 г	74,1	194,0	196,4	182,0	173,8
Пантотеновая кислота, мкг/1 г	171,1	432,9	425,9	411,0	362,2
Фолиевая кислота, мкг/1 г	0,3	0,7	0,7	0,6	0,7
Биотин, мкг/1 г	3,2	8,2	8,1	6,9	5,4
Инозитол, мкг/1 г	96,4	255,3	244,8	241,7	212,6
Цианин, мкг/1 г	101,9	275,2	266,5	263,1	250,0

Таким образом, исходя из вышесказанного, можно заключить о целесообразности вакуумной сушки пчелиного маточного молочка при температуре 35 °C. При данной температуре в большей степени сохраняются термолабильные компоненты продукта и наблюдаются относительно невысокие энергозатраты (порядка 1,2 кВт/кг влаги).

Для подбора остаточного давления вакуумной сушки пчелиного маточного молочка использовали подобранную температуру нагрева в 35 °C, а остаточное давление составляло 2, 3 и 4 кПа. Выше давление устанавливать нецелесообразно, поскольку при этом не будет

обеспечиваться кипение влаги. Остальные параметры оставались такими же, как и в предыдущей серии экспериментов [14].

На рис. 6-9 приведены графики зависимости относительной массы пчелиного маточного молочка в процессе вакуумной сушки при различной толщине слоя и плотности теплового потока.

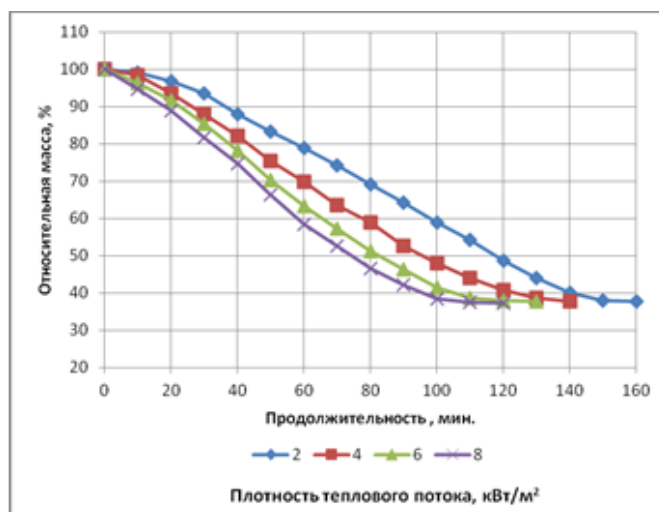


Рисунок 6. Графики зависимости относительной массы пчелиного маточного молочка в процессе вакуумной сушки при толщине слоя 5 мм

При вакуумной сушке пчелиного маточного молочка с толщиной слоя 5 мм наблюдалась наименьшая продолжительность процесса, которая составила 120-160 мин в зависимости от плотности теплового потока.

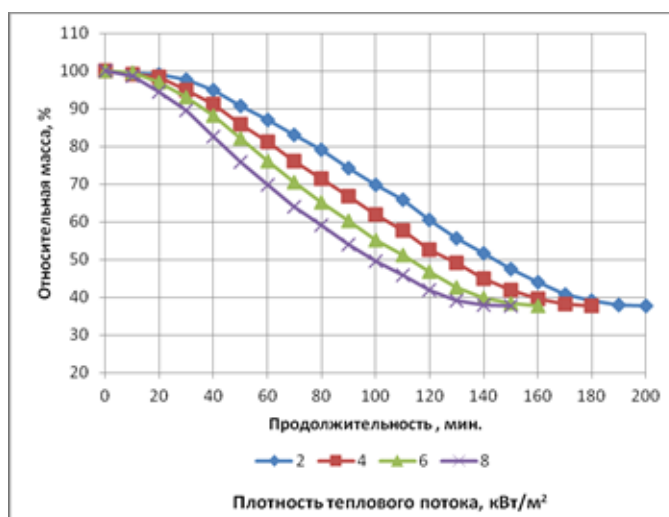


Рисунок 7. Графики зависимости относительной массы пчелиного маточного молочка в процессе вакуумной сушки при толщине слоя 10 мм

Увеличение толщины слоя до 10 мм обуславливает повышение продолжительности обезвоживания до 150-200 мин.

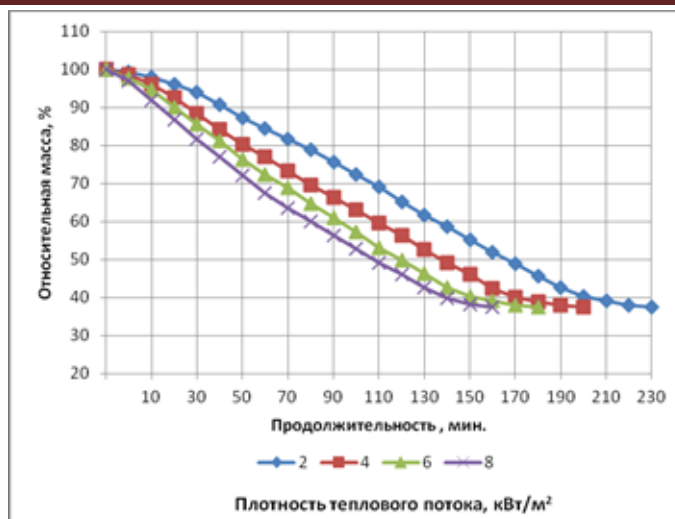


Рисунок 8. Графики зависимости относительной массы пчелиного маточного молочка в процессе вакуумной сушки при толщине слоя 15 мм

Дальнейшее увеличение толщины слоя до 15 и 20 мм влечет за собой дальнейшее повышение продолжительности сушки до 160-230 мин и 190-270 мин соответственно.

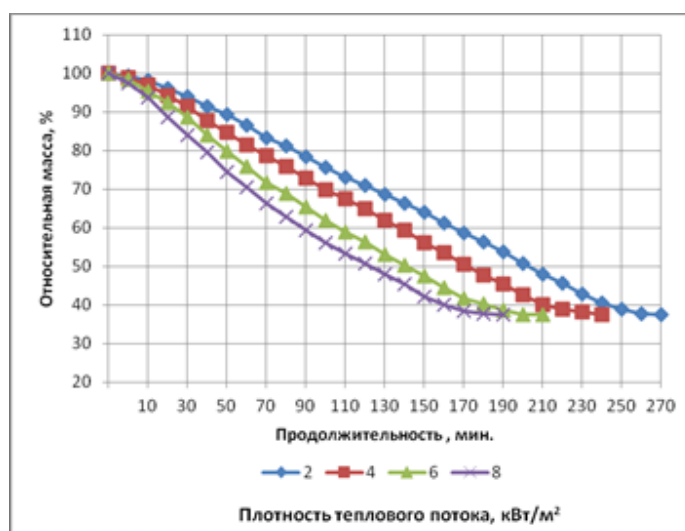


Рисунок 9. Графики зависимости относительной массы пчелиного маточного молочка в процессе вакуумной сушки при толщине слоя 20 мм

Таким образом, с увеличением толщины слоя сушки увеличивается разность в продолжительности обезвоживания при различной плотности теплового потока.

На рис. 10 представлены графики зависимости массовой доли влаги обезвоженного пчелиного маточного молочка в зависимости от толщины продукта и плотности теплового потока.

Повышение плотности теплового потока и снижение толщины слоя сушки влечет за собой уменьшение массовой доли влаги сухого продукта, что обусловлено лучшими условиями тепломассопереноса. При сушке с толщиной слоя 5 мм наблюдалось наименьшее влагосодержание, которое составило от 4,6 до 5,3 % в зависимости от плотности теплового потока [13]. Увеличение толщины до 10-20 мм обуславливает увеличение массовой доли влаги до 5,1-5,9 % [15, 16].

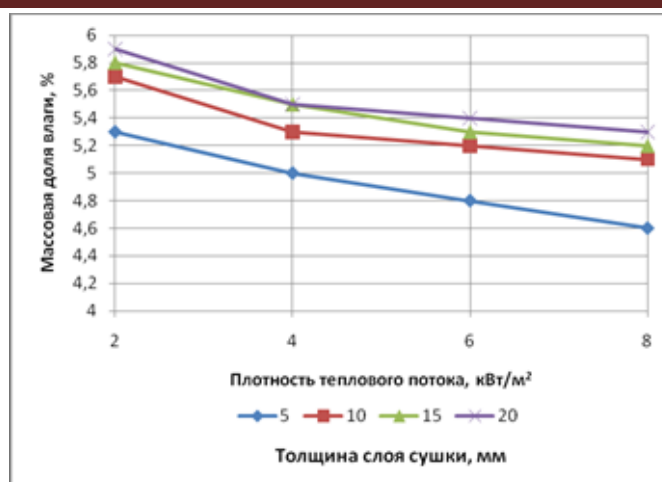


Рисунок 10. Графики зависимости массовой доли влаги сухого пчелиного маточного молочка в зависимости от толщины слоя и плотности теплового потока вакуумной сушки

Плотность теплового потока и толщина слоя сушки оказывают влияние и на органолептические показатели. Соответствующие результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3. Органолептические показатели сухого пчелиного маточного молочка при подборе толщины слоя и плотности теплового потока

Показатель	Плотность теплового потока, кВт/м ²			
	2	4	6	8
Толщина слоя – 5 мм				
Вкус	9	9	8	8
Цвет	10	9	9	8
Консистенция	9	10	9	9
Запах	9	9	8	8
Итого	37	37	34	33
Толщина слоя – 10 мм				
Вкус	8	9	9	8
Цвет	10	9	9	8
Консистенция	8	9	9	9
Запах	8	8	8	8
Итого	34	35	35	33
Толщина слоя – 15 мм				
Вкус	8	8	7	7
Цвет	9	9	8	8
Консистенция	8	7	7	8
Запах	8	8	8	7
Итого	33	32	30	30
Толщина слоя – 20 мм				
Вкус	8	7	7	7
Цвет	8	8	8	7
Консистенция	6	8	7	7
Запах	7	8	8	7
Итого	29	31	30	28

Установлено, что с увеличением толщины слоя сушки наблюдается снижение органолептической оценки, что особенно проявляется для такого показателя как консистенция. Также обнаружено, что наибольшие качественные показатели приходятся на плотность теплового потока 4 кВт/м².

Исходя из соображений по сохранению качества продукта рекомендуется обезвоживать пчелиное маточное молочко при толщине слоя 5 мм и плотности теплового потока 4 кВт/м². Это обеспечивает органолептическую оценку в 37 баллов из 40.

Выводы

Таким образом, на основании проведенных исследований получены следующие выводы:

1. Вакуумную сушку пчелиного маточного молочка необходимо проводить при температуре 35 °С. При данной температуре в большей степени сохраняются термолабильные компоненты продукта и наблюдаются относительно невысокие энергозатраты (порядка 1,2 кВт/кг влаги).

2. Для подбора остаточного давления вакуумной сушки пчелиного маточного молочка использовали подобранную температуру нагрева в 35 °С, а остаточное давление составляло 2, 3 и 4 кПа. Выше давление устанавливать нецелесообразно, поскольку при этом не будет обеспечиваться кипение влаги.

3. При сушке с толщиной слоя 5 мм наблюдалось наименьшее влагосодержание, которое составило от 4,6 до 5,3 % в зависимости от плотности теплового потока. Увеличение толщины до 10-20 мм обуславливает увеличение массовой доли влаги до 5,1-5,9 %. Исходя из соображений по сохранению качества продукта, рекомендуется обезвоживать пчелиное маточное молочко при толщине слоя 5 мм и плотности теплового потока 4 кВт/м². Это обеспечивает органолептическую оценку в 37 баллов из 40.

Список источников

1. Агафонов А.В. Совершенствование технологии производства и переработки маточного молочка / Агафонов Александр Васильевич. автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Волгоград, 2017. 22 с.
2. Брандорф А.З. и др. Качество маточного молочка у пчел разного происхождения / А.З. Брандорф, М.М. Ивойлова, Хью Янбо, Ли Хинган // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2014. № 2 (39). С. 58-62.
3. Ермолаев В.А. Технологии вакуумного и сублимационного обезвоживания биологически-активных продуктов. Санкт-Петербург: Издательство «Лань», 2023. 160 с.
4. Ермолаев В.А. Низкотемпературная вакуумная сушка как способ обезвоживания растительного сырья // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2019. №1. С. 160-166.
5. Ермолаев В.А., Славянский А.А. Разработка режимов вакуумной сушки меда // Хранение и переработка сельхозсырья. 2021. №1. С. 52-58.
6. Ермолаев В.А., Иваненко О.Н., Онюшев М.В. Разработка температурных режимов вакуумного концентрирования молока // Вестник КрасГАУ. 2016. № 9. С.121-127.
7. Ермолаев В.А. Исследование процессов вакуумной сушки меда // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2018. №6. С. 111-115.
8. Конторщикова К.Н. и др. Оценка влияния фармакологической композиции «мёд-маточное молочко-Убихинон-10» на прооксидантно-антиоксидантный гомеостаз спортсменов / К.Н. Конторщикова, В.Н. Крылов, А.Н. Овчинников, Ю.Р. Тихомирова, Т.И. Колегова, Г.А. Торшакоева // Медицинский альманах. 2017. № 2 (47). С. 104-107.
9. Крылова Е.В. и др. Влияние маточного молочка пчёл и Убихинона-10 на вариабельность сердечного ритма квалифицированных пловцов в период физических нагрузок / Е.В. Крылова, С.В. Копылова, С.В. Кузнецова, А.Н. Овчинников // Теория и практика физической культуры. 2015. № 1. С. 23-26.
10. Патент № 2641720. Способ получения сухого пчелиного маточного молочка / В.А. Ермолаев, М.В. Онюшев. Заявитель ФГБОУ ВПО Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет) - №2016145976 Заявл. 23.11.2016; Опубл. 22.01.2018.

11. Guo J. Active components and biological functions of royal jelly / J. Guo, Z. Wang, Y. Chen // J. Funct. Foods. 2021. No. 82. P. 104514.
12. Mokaya H.O. African honeybee royal jelly: Phytochemical contents, free radical scavenging activity, and physicochemical properties / H.O. Mokaya, L.K. Njeru, H.M.G. Lattorff // Food Biosci. 2020. No. 37. P. 100733.
13. Park M.J. Antioxidant capacity of major royal jelly proteins of honeybee (*Apis mellifera*) royal jelly / M.J. Park, B.Y. Kim, Y. Deng, H.G. Park, Y.S. Choi, K.S. Lee, B.R. Jin // J. Asia Pac. Entomol. 2020. No. 2. Pp. 445-448.
14. Ramanathan A.; Nair A.J.; Sugunan V.S. A review on royal jelly proteins and peptides // J. Funct. Foods. 2018. No. 44. Pp. 255–264.
15. Yang X. Purification and identification of peptides with high angiotensin-I converting enzyme (ACE) inhibitory activity from honeybee pupae (*Apis mellifera*) hydrolysates with in silico gastrointestinal digestion / X. Yang, K. Chen, H. Liu, Y. Zhang, Y. Luo // E3S Web of Conferences. 2024. Vol. 510. P. 01030.
16. Zhang L. Influence of high hydrostatic pressure pretreatment on properties of vacuum-freeze dried strawberry slices / L. Zhang, Y. Qiao, C. Wang, L. Liao, D. Shi, K. An, L. Shi // Food Chem. 2020. Vol. 331. P. 127203.

References

1. Agafonov A.V. Improving the technology of production and processing of royal jelly. Agafonov Alexander Vasilyevich. the abstract. diss. ... kand. biol. sciences. Volgograd, 2017, 22 p.
2. Brandorf A.Z. et al. The quality of royal jelly in bees of different origins. A.Z. Brandorf, M.M. Ivoylova, Hugh Yanbo, Li Hingan. Agricultural Science of the Euro-North-East, 2014, no. 2 (39), pp. 58-62.
3. Ermolaev V.A. Technologies of vacuum and sublimation dehydration of biologically active products. St. Petersburg: Lan Publishing House, 2023, 160 p.
4. Ermolaev V.A. Low-temperature vacuum drying as a method of dehydration of vegetable raw materials. Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University, 2019, no. 1, pp. 160-166.
5. Ermolaev V.A., Slavyansky A.A. Development of modes of vacuum drying of honey. Storage and processing of agricultural raw materials, 2021, no. 1, pp. 52-58.
6. Ermolaev V.A., Ivanenko O.N., Konyshov M.V. Development of temperature regimes for vacuum milk concentration. Bulletin of KrasSAU, 2016, no. 9, pp.121-127.
7. Ermolaev V.A. Investigation of processes of vacuum drying of honey. Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University, 2018, no. 6, pp. 111-115.
8. Kontorshchikova K.N. et al. Evaluation of the effect of the pharmacological composition «honey-royal jelly-Ubiquinone-10» on the pro-oxidant-antioxidant homeostasis of athletes. K.N. Kontorshchikova, V.N. Krylov, A.N. Ovchinnikov, Yu.R. Tikhomirova, T.I. Kolegova, G.A. Torshakova. Medical almanac, 2017, no. 2 (47), pp. 104-107.
9. Krylova E.V. et al. The influence of royal jelly of bees and Ubiquinone-10 on the heart rate variability of qualified swimmers during physical exertion. E.V. Krylova, S.V. Kopylova, S.V. Kuznetsova, A.N. Ovchinnikov. Theory and practice of physical culture, 2015, no. 1, pp. 23-26.
10. Patent No. 2641720. Method of obtaining dry royal jelly from bees. V.A. Ermolaev, M.V. Onyushev. The applicant is Kemerovo Technological Institute of Food Industry (University). No. 2016145976. Application dated 23.11.2016. Published on 22.01.2018.
11. Guo J. Active components and biological functions of royal jelly. J. Guo, Z. Wang, Y. Chen. J. Funct. Foods, 2021, no. 82, p. 104514.
12. Mokaya H.O. African honeybee royal jelly: Phytochemical contents, free radical scavenging activity, and physicochemical properties. H.O. Mokaya, L.K. Njeru, H.M.G. Lattorff. Food Biosci, 2020, no. 37, p. 100733.
13. Park M.J. Antioxidant capacity of major royal jelly proteins of honeybee (*Apis mellifera*) royal jelly. M.J. Park, B.Y. Kim, Y. Deng, H.G. Park, Y.S. Choi, K.S. Lee, B.R. Jin. J. Asia Pac. Entomol, 2020, no. 2, pp. 445-448.

14. Ramanathan A.; Nair A.J.; Sugunan V.S. A review on royal jelly proteins and peptides. J. Funct. Foods, 2018, no. 44, pp. 255-264.
15. Yang X. Purification and identification of peptides with high angiotensin-I converting enzyme (ACE) inhibitory activity from honeybee pupae (*Apis mellifera*) hydrolysates with in silico gastrointestinal digestion. X. Yang, K. Chen, H. Liu, Y. Zhang, Y. Luo. E3S Web of Conferences, 2024, vol. 510, p. 01030.
16. Zhang L. Influence of high hydrostatic pressure pretreatment on properties of vacuum-freeze dried strawberry slices. L. Zhang, Y. Qiao, C. Wang, L. Liao, D. Shi, K. An, L. Shi. Food Chem, 2020, vol. 331, p. 127203.

Информация об авторе

В.А. Ермолаев – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры биотехнологий и производства продуктов питания.

Information about the author

V.A. Ermolaev – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Biotechnology and Food Production.

Научная статья

УДК 663.478.1

DOI 10.24888/2541-7835-2025-35-1-49-60

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СБРАЖИВАНИЯ ПИВНОГО СУСЛА СМЕСЬЮ ПИВНЫХ И ВИННЫХ ДРОЖЖЕЙ

Казарцев Дмитрий Анатольевич^{1✉}, Галкин Андрей Игоревич²,
Карачев Станислав Викторович³

^{1,3}Московский государственный университет технологий и управления
им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет), Москва, Россия

²Вятский государственный агротехнологический университет, Киров, Россия

¹kda_79@mail.ru✉

²galkin-galkin87@mail.ru

³karachev.s@vyatich-kirov.ru

Аннотация. В настоящее время большая часть пива изготавливается с применением пивных дрожжей верхового и низового брожения. Винные дрожжи используются крайне редко при сбраживании пивного сусла из-за их специфики сбраживания только простых сахаров. В литературе отсутствуют рекомендации по режимам процесса сбраживания пивного сусла винными дрожжами. Данная статья посвящена исследованию процесса сбраживания пивного сусла с использованием различных видов винных дрожжей, таких как Lalvin QA23, Lalvin 71B, Lalvin K1. Представлены результаты эксперимента с применением смеси пивных дрожжей Lallemend Balle Saison и винных дрожжей Lalvin 71B в присутствии ферментного препарата «Декстриназа» и без него. Определены качественные показатели пивного сусла в процессе сбраживания винными дрожжами и смесью пивных и винных дрожжей. По результатам проведенных экспериментов с 3-мя вариантами винных дрожжей, установлено, что дрожжи Lalvin 71B наиболее подходящие для совместного применения с пивными дрожжами, так как они являются чувствительными по фенотипу и не угнетают пивные дрожжи в процессе брожения, а также более продолжительное время остаются во взвешенном состоянии. На основании проведенного исследования обосновано применение ферментного препарата «Декстриназа» для расщепления декстринов на простые сахара.

Ключевые слова: винные дрожжи, пивные дрожжи, пивное сусло, степень сбраживания, ферментный препарат

Для цитирования: Казарцев Д.А., Галкин А.И., Карачев С.В. Исследование процесса сбраживания пивного сусла смесью пивных и винных дрожжей // Агропромышленные технологии Центральной России. 2025. № 1(35). С. 49-60. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2025-35-1-49-60>.

Original article

STUDY OF THE PROCESS OF FERMENTATION OF BEER WORT BY BEER AND WINE YEAST

Dmitry A. Kazartsev^{1✉}, Andrey I. Galkin², Stanislav V. Karachev³

^{1,3}K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management
(the First Cossack University), Moscow, Russia

²Vyatka State Agrotechnological University, Kirov, Russia

¹kda_79@mail.ru✉

²galkin-galkin87@mail.ru

³karachev.s@vyatich-kirov.ru

Abstract. Currently, most beer is made using top-fermenting and bottom-fermenting brewer's yeast. Wine yeast is rarely used in the fermentation of beer wort, due to its specificity of fermenting only simple sugars. There are no recommendations in the literature on the modes of the fermentation process of beer wort with wine yeast. This article is devoted to the study of the fermentation process of beer wort using

various types of wine yeast such as Lalvin QA23, Lalvin 71B, Lalvin K1, and also presents the results of an experiment using a mixture of Lallemend Balle Saison brewer's yeast and Lalvin 71B wine yeast in the presence of the enzyme preparation «Dextrinase» and without it. The quality indicators of beer wort in the process of fermentation with wine yeast and a mixture of brewer's and wine yeast are determined. Based on the results of experiments with 3 variants of wine yeast, it was found that Lalvin 71B yeast is the most suitable for joint use with brewer's yeast, since it is sensitive by phenotype and does not inhibit brewer's yeast during fermentation and also remains suspended for a longer period of time. Based on the results of the study, the use of the enzyme preparation «Dextrinase» for the breakdown of dextrins into simple sugars is justified.

Keywords: *Wine yeast, brewer's yeast, beer wort, degree of fermentation, enzyme preparation*

For citation: *Kazartsev D.A., Galkin A.I., Karachev S.V. Study of the process of fermentation of beer wort by beer and wine yeast. Agro-industrial technologies of Central Russia, 2025, no. 1(35), pp. 49-60. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2025-35-1-49-60>.*

Введение

По классической технологии при сбраживании пивного сусла используются пивные дрожжи, которые обеспечивают необходимую степень сбраживания, крепость, остаточный экстракт и естественную карбонизацию готового пива.

Дрожжи являются одним из базовых ингредиентов, от которого зависят физико-химические и органолептические показатели пива.

В пивоварении различают дрожжи верхового брожения для производства элей и пшеничного пива, которые бродят при повышенных температурах, а также дрожжи низового брожения, которые бродят при более низких температурах [1].

На процесс брожения влияют множество факторов, таких как состав готового охмеленного сусла, интенсивность аэрации сусла, температура брожения, количество и состояние дрожжей. Также каждому стилю пива характерны свои штаммы дрожжей, которые придают продукту определенные характеристики и в некоторых случаях формируют вкус и аромат готового пива [2].

Винные дрожжи в пивоварении являются редкостью и в большинстве случаев используются при производстве сортов пива с большой долей соков в составе, таких как сок винограда (итальянский эль) [3].

Каждый пивовар выбирает определенный вид дрожжей, который наиболее подходит для производимых на заводе сортов пива. Иногда применяются не стандартные приемы, такие как использование диких дрожжей, винных дрожжей или бреттаномисетов. Это придает разнообразие вкусов и определенную эксклюзивность каждому сорту пива, но при этом имеется риск смешивания с культурными пивными дрожжами и получения непредвиденного результата в органолептических характеристиках готового продукта [4].

В связи с выше изложенным, для пивоваренной промышленности актуальным является исследование применения винных дрожжей при сбраживании пивного сусла для получения пива с особыми физико-химическими и органолептическими характеристиками.

Цель работы – исследование особенностей процесса сбраживания пивного сусла смесью пивных и винных дрожжей, выбор и обоснование применения ферментного препарата для достижения максимальной степени сбраживания.

Материалы и методы исследований

Объектом исследования является процесс сбраживания пивного сусла смесью пивных и винных дрожжей. Предмет исследования – степень сбраживания и количество дрожжевых клеток в процессе брожения.

Эксперимент проводился в лаборатории бродильных производств ФГБОУ ВО «Вятский государственный агротехнологический университет» в период с 01 марта по 01 октября 2024 г. Для осуществления эксперимента использовалась экспериментальная пивоварня «Гамбринус».

Приготовление пивного сусла. Экспериментальное сусло изготавливалось по технологии производства пшеничных сортов пива [5], таких как Weizen, Gose и Sour Ale, в качестве основного сырья на варку были взяты ячменный светлый солод 50 % и пшеничный светлый солод 50% от общей засыпи.

Для измельчения солодов использовалась двухвальцевая дробилка сухого помола Браура 112/15-1 производительностью 350 кг/час. Вальцы дробилки были отрегулированы таким образом, чтобы в процессе дробления достигались необходимые фракции помола, наименование и процентное соотношение каждой фракции помола указаны в табл. 1. Размер фракций был выбран согласно рекомендациям в литературе В. Кунце [6].

Таблица 1. Фракции помола

Наименование фракции помола	Доля фракции, %
Ситовая фракция 1 (шелуха)	14,9
Ситовая фракция 2 (крупная крупка)	16,2
Ситовая фракция 3 (мелкая крупка 1)	37,2
Ситовая фракция 4 (мелкая крупка 2)	13,9
Ситовая фракция 5 (мука)	9,8
Ситовая фракция 6 (пудра)	8

При осуществлении процесса затирания измельченный солод смешивали с подготовленной водой исходя из гидромодуля 1:3,9.

Данный гидромодуль в процессе затирания на экспериментальной установке обеспечивает более эффективное расщепление крахмала до простых сахаров с исключением дальнейших сложностей при фильтрации затора.

Процесс затирания осуществляли по настойному способу с выдержкой необходимых температурных пауз, рекомендуемых в литературе для достижения полного осахаривания крахмала в заторе. В табл. 2 указаны температуры и продолжительность пауз при затирании.

Таблица 2. Паузы на этапе затирания солода

Наименование паузы	Температура, °C	Продолжительность, мин.
Мэш-ин	50	5
Белковая	50	10
Мальтозная	62	40
Осахаривание	72	20
Мэш-аут	78	5

Далее проводили процесс фильтрации затора с отбором первого сусла и дальнейшей промывкой дробины промывной водой. На данном этапе было важно корректно рассчитать количество промывной воды для исключения чрезмерной промывки дробины, что может приводить не только к снижению экстрактивности начального сусла, но и выщелачиванию из дробины танинов, которые в дальнейшем могут негативно повлиять на вкусовые характеристики пива [7].

Осуществляли интенсивное кипячение сусла с хмелем в течение 90 мин при температуре не ниже 100 °C для исключения накопления диметилсульфида в охмеленном сусле [8]. В процессе кипячения в сусло задавали немецкий ароматный гранулированный хмель «Теттангер». В табл. 3 указаны этапы задачи хмеля в сусло в процессе кипячения. Расчет количе-

ства задаваемого хмеля производили исходя из получения пивного сусла с уровнем горечи не более 15IBU [9].

Таблица 3. Этапы задачи хмеля в сусло в процессе кипячения

Наименование хмеля	Содержание альфа кислот, %	Количество, г	Время задачи до окончания кипячения, мин.
Хмель гранулированный «Tettnanger»	6	12	90
Хмель гранулированный «Tettnanger»	6	12	45
Хмель гранулированный «Tettnanger»	6	12	5

После кипячения сусло охлаждали до температуры брожения 25 °С. Данная температура наиболее оптимальна для работы винных дрожжей при сбраживании сусла [10].

Выбор винных дрожжей

С целью изучения особенностей процесса сбраживания пивного сусла винными дрожжами, были сварены 3 одинаковые экспериментальные варки пивного сусла (показатели указаны в табл. 4).

Таблица 4. Характеристики экспериментального сусла

Показатель	Значение
Экстрактивность начального сусла, %	14
pH, ед.	5,64
Горечь, IBU	15
Цвет, цв.ед.	0,5
Полнота осахаривания	Хорошая

В каждую экспериментальную варку были заданы разные винные дрожжи (характеристики дрожжей указаны в табл. 5).

Таблица 5. Характеристики экспериментальных винных дрожжей

Характеристики	Наименование винных дрожжей		
	Lalvin QA23	Lalvin 71B	Lalvin K1
вкус-ароматический профиль	тропических фруктов и цитрусов	тропических фруктов и банана	цветочный
образование диоксида серы	низкий уровень	низкий уровень	низкий уровень
устойчивость к алкоголю	до 16 %об	до 14 %об	до 18 %об
температура брожения	от 14 до 28 °С	от 15 до 30 °С	от 10 до 35 °С
фенотип	киллеры	чувствительные	киллеры
пенообразование	низкое	среднее	низкое

Определение показателей пивного сусла в ходе эксперимента, осуществляли по следующим методам.

Полнота осахаривания. На предметное стекло наносили по одной капле исследуемого сусла (без грубых взвешенных частиц) и 0,05 н. раствора йода, накрыли покровным стеклом и микроскопировали при увеличении в 200...300 раз.

Экстрактивность начального сусла. Для определения погружали ареометр-сахарометр в первое сусло или охмеленное готовое пивное сусло, снятие показаний по шкале ареометра проводили при температуре 20 °С.

Цветность определяли в готовом охмеленном пивном сусле по ГОСТ12789-2022 п.4 «Определение цвета методом визуального сравнения с раствором йода»

Водородный показатель осуществлялся в заторе на этапе затирания и в конце кипячения сусла с хмелем, а также ежедневно при брожении и в готовом пиве. Измерение проводилось с помощью рН метра InoLab рН 7110 по ГОСТ 31764-2012 «Пиво, метод определения рН»

Горечь определяли в сусле и готовом пиве с применением раствора соляной кислоты, изооктана с дальнейшим замером на спектрофотометре.

Объемную долю этилового спирта, остаточную плотность и видимую степень сбраживания определяли ежедневно в процессе брожения и в готовом пиве с помощью прибора Anton Paar DMA 4500M.

Количество дрожжевых клеток в пиве определяли ежедневно в процессе брожения с помощью метода подсчета через микроскоп в образце, нанесенном на поверхность счетной камеры с покрывным стеклом.

Результаты исследований и их обсуждение

Исследование процесса сбраживания пивного сусла винными дрожжами и обоснование выбора винных дрожжей.

На рис. 1 показано сравнительное изменение значения видимой степени сбраживания в процессе брожения пивного сусла при использовании разных видов винных дрожжей.

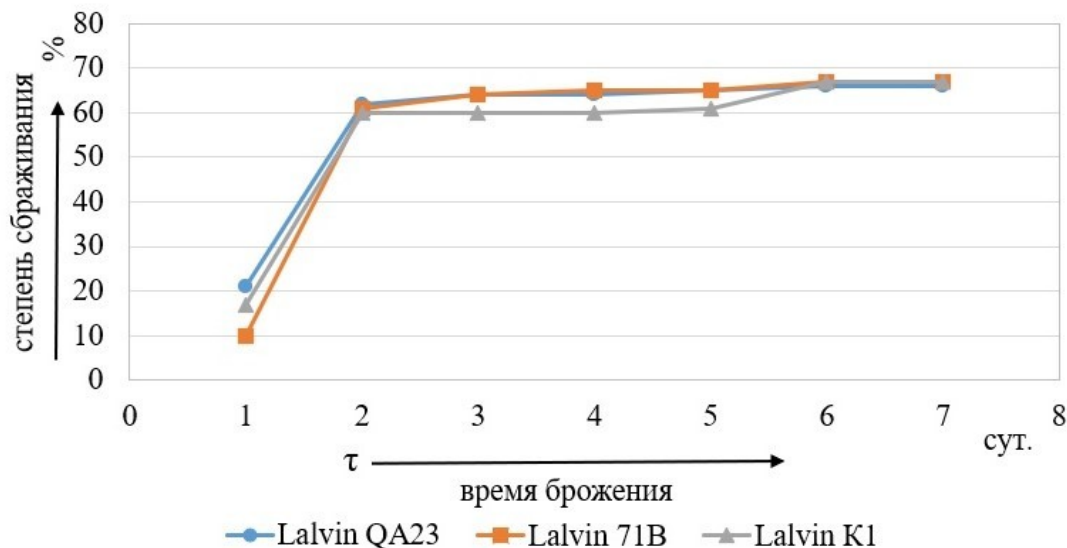


Рисунок 1. Диаграмма изменения степени сбраживания пивного сусла разными видами винных дрожжей

На диаграмме прослеживается во всех трех экспериментальных образцах резкое увеличение уровня видимой степени сбраживания на 2-е сутки с дальнейшим замедлением и остановкой в последующие 5 суток. Это обусловлено быстрым набором биомассы дрожжей в присутствии аминного азота в первые сутки, с последующей интенсивной переработкой простых сахаров в алкоголь и углекислый газ. Так как винные дрожжи не перерабатывают декстрины и мальтотриозу [11], на графике прослеживается медленный рост видимой степени

сбраживания после 2-х суток брожения, с высоким показателем остаточного видимого экстракта на конец брожения. На рис. 2 показано изменение количества дрожжевых клеток в процессе главного брожения при использовании разных видов винных дрожжей.

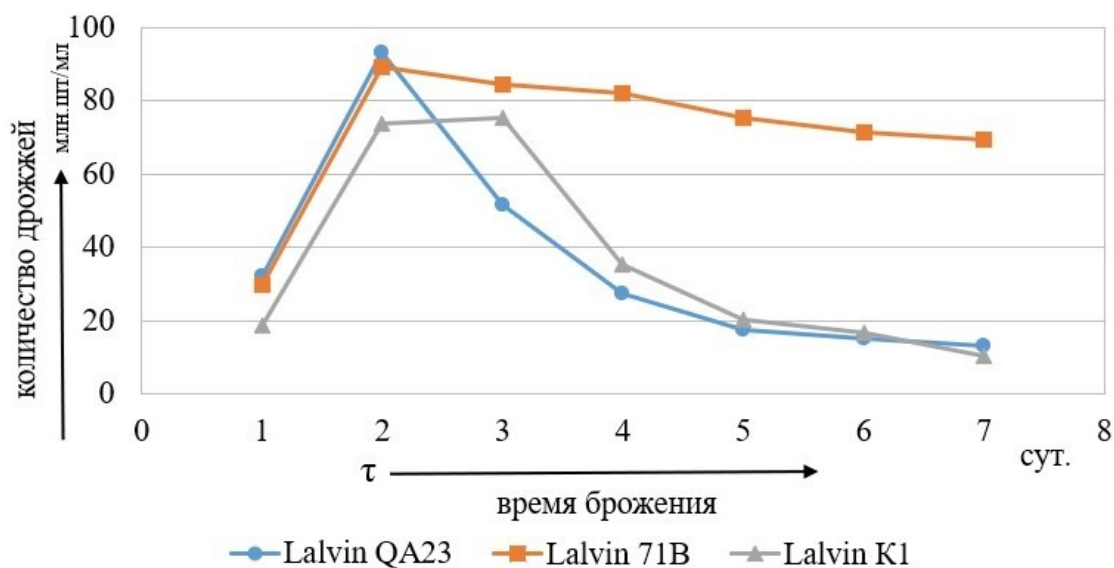


Рисунок 2. Диаграмма изменения количества дрожжевых клеток в процессе сбраживания пивного суслу разными видами винных дрожжей

По диаграмме виден быстрый рост биомассы всех видов экспериментальных винных дрожжей в первые сутки брожения за счет наличия достаточного количества кислорода, аминного азота и простых сахаров. В связи с отсутствием необходимых сахаров на 3-и сутки брожения рост биомассы остановился и пошел на спад. Сравнительно медленное оседание винных дрожжей Lalvin 71B связано с особенностями данного штамма винных дрожжей [12].

При проведении дальнейших экспериментов дрожжи Lalvin 71B показали себя наиболее подходящими исходя из следующих результатов их применения:

- дрожжи по продолжительности оседают дольше остальных винных дрожжей, что является аналогом пылевидных пивных дрожжей, которые дольше остаются в продукте и обеспечивают более высокую степень сбраживания;
- дрожжи по фенотипу являются чувствительными и позволяют проводить процесс совместного сбраживания пивного суслу в присутствии пивных и винных дрожжей в симбиозе.

Исследование процесса сбраживания пивного суслу смесью пивных и винных дрожжей.

Для получения пива с более высоким уровнем видимой степени сбраживания, в качестве эксперимента при сбраживании пивного суслу была использована смесь диастатических пивных дрожжей *Lallemand Belle Saison* и винных дрожжей *Lalvin 71B* в количестве 10 грам, по 5 г. каждого вида (1:1).

*Характеристики дрожжей для производства пива *Saccharomyces cerevisiae* Lallemand Belle Saison:*

- штамм диастатических дрожжей, который позволяет получить пиво с очень высокой степенью сбраживания 86 – 94 %;
- придают пиву аромат цитрусовый или перечный;
- устойчивость к алкоголю до 15 %об.;
- температура брожения от 20 до 35 °C;
- по фенотипу относятся к дрожжам – нейтральные.

На рис. 3 показано сравнительное изменение значения видимой степени сбраживания в процессе сбраживания пивного суслу при использовании винных дрожжей Lalvin 71B и смеси дрожжей.

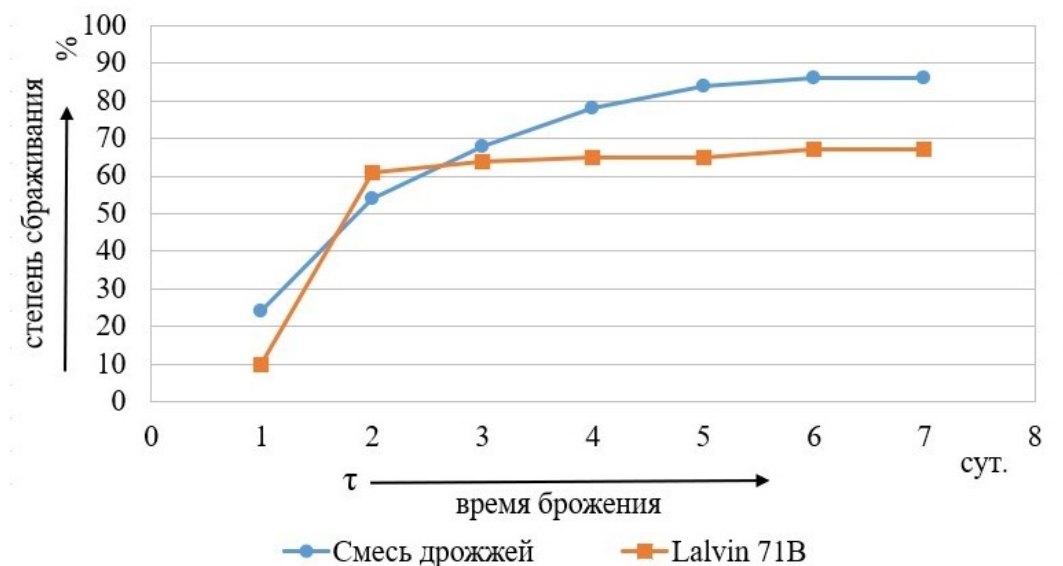


Рисунок 3. Диаграмма изменения видимой степени пивного сусла при сбраживании смесью дрожжей и винными дрожжами Lalvin 71B

В эксперименте с применением смеси винных и пивных дрожжей на диаграмме прослеживается увеличение видимой степени сбраживания на 20 % по сравнению со сбраживанием только винными дрожжами Lalvin 71B, за счет применения в смеси диастатических пивных дрожжей, которые способны расщеплять декстрины до простых сахаров с последующим их сбраживанием [13].

На рисунке 4 показано изменение количества дрожжевых клеток в процессе сбраживания пивного сусла винными дрожжами Lalvin 71B и смесью дрожжей.

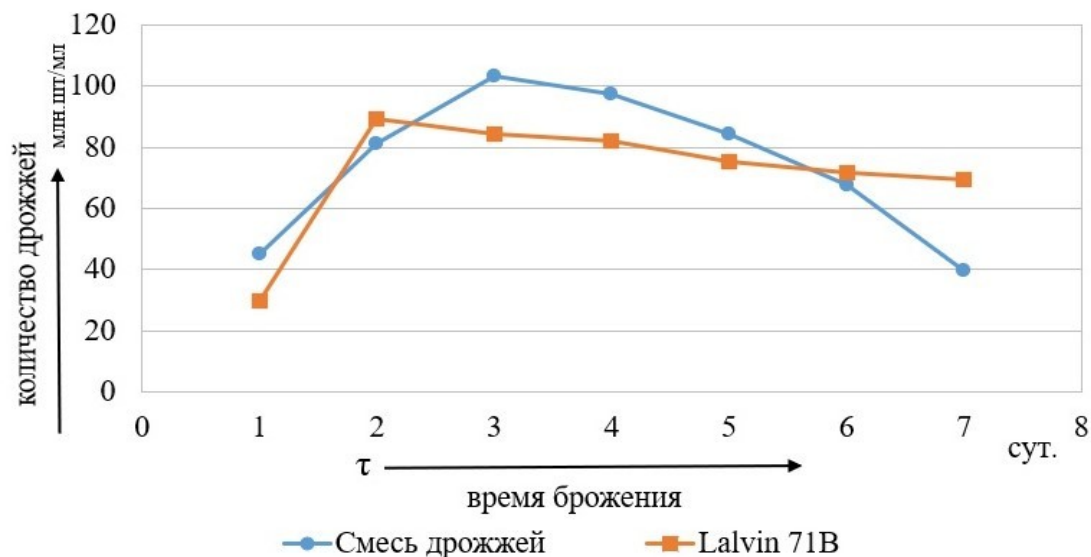


Рисунок 4. Диаграмма изменения количества дрожжевых клеток в процессе сбраживания пивного сусла смесью дрожжей и винными дрожжами Lalvin 71B

По диаграмме виден быстрый рост биомассы дрожжей в первые сутки брожения за счет наличия достаточного количества аминного азота, в присутствии простых сахаров, так как при применении смеси дрожжей диастатическими дрожжами перерабатывались декстрины в

простые сахара [14], рост биомассы продолжался с течение 3-х суток, по сравнению с винными дрожжами, где рост биомассы остановился на 2-ые сутки.

Исследование процесса сбраживания пивного сусла смесью пивных и винных дрожжей с использованием ферментного препарата «Декстриназа».

Для получения пива с максимальным уровнем видимой степени сбраживания, в качестве эксперимента, перед сбраживанием в охлажденное пивное сусло был добавлен ферментный препарат «Декстриназа» в количестве 20 мл на 50 л сусла, для расщепления декстринов и мальтотриозы до простых сахаров, сбраживаемых винными дрожжами *Lalvin 71B*.

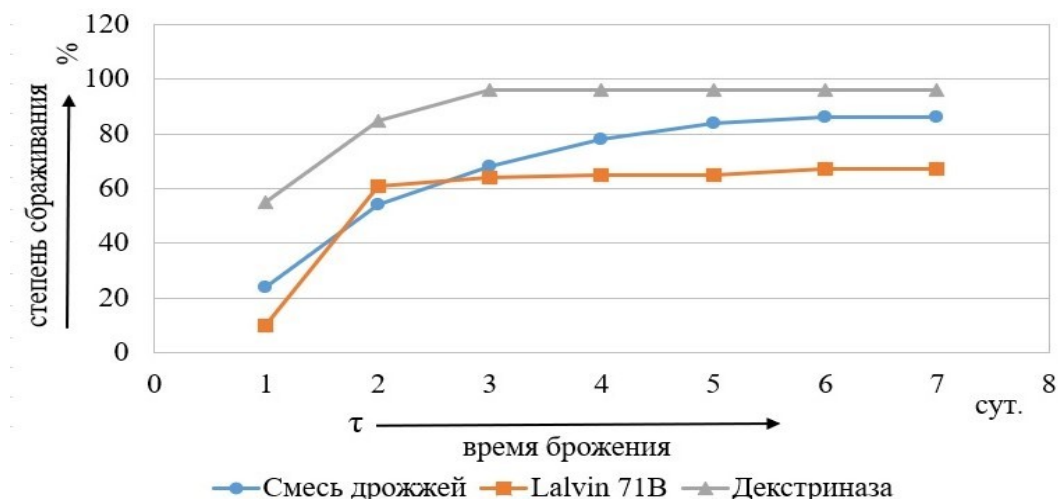


Рисунок 5. Диаграмма изменения видимой степени сбраживания в процессе брожения

На рисунке 5 показано сравнительное изменение значения видимой степени сбраживания в процессе сбраживания пивного сусла при использовании винных дрожжей *Lalvin 71B*, смеси дрожжей и фермента «Декстриназа».

В эксперименте с применением фермента «Декстриназа» на диаграмме прослеживается увеличение видимой степени сбраживания на 30 % по сравнению со сбраживанием только винными дрожжами *Lalvin 71B*, за счет полного расщепления декстринов и сложных сахаров на простые сахара с последующим их сбраживанием винными дрожжами [15].

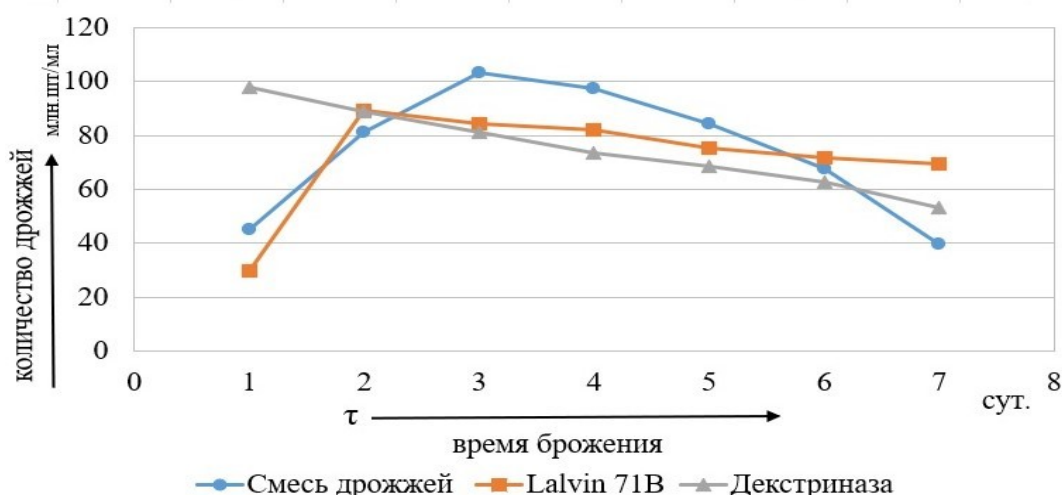


Рисунок 6. Диаграмма изменения количества дрожжевых клеток в процессе брожения

На рисунке 6 показано изменение количества дрожжевых клеток в процессе главного брожения при использовании винных дрожжей *Lalvin 71B*, смеси дрожжей, фермента «Декстриназа».

По диаграмме виден быстрый рост биомассы дрожжей в первые сутки брожения за счет наличия достаточного количества аминного азота в присутствии максимального количества простых сахаров, так как при применении ферментного препарата «Декстриназа» переработала все декстрины и мальтотриозу в простые сахара, рост биомассы длился в течение 1-ых суток и при сбраживании всех сахаров на 2-ые сутки остановился. Далее, в течение последующих 6-ти суток, количество дрожжевых клеток уменьшалось.

Выводы

1. В ходе эксперимента при сбраживании пивного сусла винными дрожжами Lalvin QA23, Lalvin 71B, Lalvin K1 определено, что наиболее подходящими для совместного сбраживания с пивными дрожжами являются винные дрожжи Lalvin 71B, так как они являются чувствительными по фенотипу и не угнетают пивные дрожжи в процессе брожения, а также более продолжительное время остаются во взвешенном состоянии.

2. Установлено, что при сбраживании пивного сусла с использованием смеси пивных диастатических дрожжей и винных дрожжей в соотношении 1:1 без применения ферментных препаратов возможно получить степень сбраживания не выше 86 %.

3. Определено, что использование смеси пивных диастатических дрожжей и винных дрожжей в соотношении 1:1 при сбраживании пивного сусла в присутствии ферментного препарата «Декстриназа» обеспечивает максимальную степень сбраживания 97 % за счет расщепления декстринов и сложных сахаров до простых сахаров с последующим их сбраживанием в полном объеме.

4. По результату сбраживания пивного сусла смесью пивных и винных дрожжей с использованием ферментного препарата «Декстриназа» было получено пиво, которое соответствует по всем физико-химическим показателям ГОСТ 31711-2012.

Список источников

1. Алябьев Б.А., Ростовская М.Ф. Особенности ферментации пшеничного пива в лабораторных и промышленных условиях // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: сборник научных статей по итогам международной научно-практической конференции, Казань, 30-31 января 2021 г. НПП «МЕДПРОМДЕТАЛЬ»; ООО «Газпром трансгаз Казань». Казань: ООО «Конверт». 2021. С. 10-14.

2. Виноградов А. К., Хлынов Д. Н. Использование микроорганизмов в производстве пива // В мире научных открытий: материалы VII Международной студенческой научной конференции. Ульяновск. 14-15 марта 2023 г.

3. Волков М. В., Бороздина А. В. Технология производства и оценка качества светлых сортов пива // Проблемы агропромышленного комплекса стран Евразийского экономического союза: материалы I Международной научно-практической конференции. 5 сентября Саратов: ООО «Центр социальных агроинноваций СТГАУ». 2015. С. 244-249.

4. Джаксыгулова А., Байгазиева Г. И., Кекибаева А. К. Исследование качества густого сусла для производства пива специального назначения // Вестник Алматинского технологического университета. 2022. № 1. С. 35-41.

5. Казарцев Д. А, Ключников А. И., Галкин А. И. Особенности процесса сбраживания пивного сусла при совместном использовании пивных и винных дрожжей // Высокоэффективные технологии в агропромышленном комплексе: Сборник материалов III Всероссийской научно-практической конференции. Конференция с международным участием, посвященная 285-летию со дня рождения Андрея Тимофеевича Болотова и приуроченная к Году учителя и наставника. Елец, 24 октября 2023 года. Елец: Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина. 2023. С. 127-130.

6. Ключников А. И., Потапов А. И. Особенности применения «падающих» режимов основного брожения и созревания пива // Инновационные решения в производстве пищевых продуктов из растительного сырья: Сборник научных статей и докладов II Международной

научно-практической конференции (заочно). Воронеж, 26-27 октября 2016 г. Воронеж: Издательско-полиграфический центр «Научная книга». 2016. С. 29-31.

7. Каменская Е.П., Чанчикова А.А. Влияние различных способов брожения пивного сусла на показатели качества светлого пива // Ползуновский вестник. 2020. № 3. С. 48-54.

8. Нийонсаба Т. Процесс основного брожения пива как многопараметрический технологический процесс // Современные тенденции развития науки и техники. 2016. № 8-2. С. 44-48.

9. Оценка качества пива в зависимости от используемого сырья / И. А. Шабанова, Л. А. Кияшкина, В. Б. Цугкиева, Л. Х. Тохтиева // Перспективы развития агропромышленного комплекса в современных условиях: материалы 8-й Международной научно-практической конференции. 18-19 апреля. Владикавказ: Горский государственный аграрный университет. 2019. С. 278-280.

10. Павлов В. А., Нийонсаба Т. Динамика изменения параметров пивного сусла в процессе основного брожения пива // Современные тенденции развития науки и техники. 2015. № 4-1. С. 125-133.

11. Попсуйко А. В., Медведева Л. И. Анализ контуров управления параметрами процесса ферментации пива // XXVIII Межвузовская научно-практическая конференция молодых ученых и студентов г. Волжского: материалы конференции, г. Волжский. 29 апреля - 02 мая 2023 г. Волжский: Волгоградский государственный технический университет. 2023. С. 89-91.

12. Пономарева О. И., Борисова Е. В., Прохорчик И. П. Молочнокислые бактерии в технологии производства кислых элей // Вестник Международной академии холода. 2018. № 2. С. 61-70.

13. Салкенова А. Е. Ферментация пивных дрожжей как биотехнологический процесс // Образование и наука в современных реалиях: Сборник материалов V Международной научно-практической конференции, Чебоксары, 04 июня 2018 г. Редколлегия: О. Н. Широков [и др.]. Чебоксары: Общество с ограниченной ответственностью «Центр научного сотрудничества «Интерактив Плюс». 2018. С. 15-19.

14. Третьяк Л. Н., Ребезов М. Б., Кизатова М. Ж. Методологические основы обеспечения качества пива и пивных напитков. Алматы: ИП Аширбаев. 2016. С. 209.

15. Хоконова М. Б., Мусалмагомедов М. М. Изменение показателей качества пива в процессе ферментации // Сборник избранных статей по материалам научных конференций Государственного научно-исследовательского института «Развитие»: Материалы конференции, Санкт-Петербург, 26-28 июня 2019 года. Том, часть 2. Санкт-Петербург: Частное научно-образовательное учреждение дополнительного профессионального образования Национальный исследовательский гуманитарный институт «НАЦРЗАВИТИЕ». 2019. С. 212-214.

References

1. Alyabyev B.A., Rostovskaya M.F. Features of fermentation of wheat beer in laboratory and industrial conditions. Priority areas of innovation activity in industry: a collection of scientific articles based on the results of the international scientific and practical conference, Kazan, January 30-31, 2021. SPE «Medical Industrial Part»; «Gasindustry» Transgas Kazan LLC. Kazan: LIC «Envelope», 2021, pp. 10-14.

2. Vinogradov A. K., Khlynov D. N. The use of microorganisms in beer production. In the world of scientific discoveries: proceedings of the VII International Student Scientific Conference. Ulyanovsk. March 14-15, 2023.

3. Volkov M. V., Borozdina A.V. Production technology and quality assessment of light beers. Problems of the agro-industrial complex of the countries of the Eurasian Economic Union: proceedings of the I International Scientific and Practical Conference. September 5, 2012: LIC «Center for Social Agro-innovations SSAU», 2015, pp. 244-249.

4. Dzhaksyugulova A., Baigazieva G. I., Kekibayeva A. K. Quality study of thick wort for special purpose beer production. Bulletin of the Almaty Technological University, 2022, no. 1, pp. 35-41.
5. Kazartsev D. A., Klyuchnikov A. I., Galkin A. I. Features of the fermentation process of beer wort with the combined use of beer and wine yeast. High-performance technologies in the agro-industrial complex: Collection of materials of the III All-Russian Scientific and Practical Conference. A conference with international participation dedicated to the 285th anniversary of the birth of Andrei Timofeevich Bolotov and dedicated to the Year of the Teacher and Mentor. Yelets, October 24, 2023. Yelets: Bunin Yelets State University, 2023, pp. 127-130.
6. Klyuchnikov A. I., Potapov A. I. Features of the application of "falling" modes of basic fermentation and maturation of beer. Innovative solutions in the production of food products from plant raw materials: Collection of scientific articles and reports of the II International Scientific and Practical Conference (in absentia). Voronezh, October 26-27, 2016. Voronezh: Scientific Book Publishing and Printing Center, 2016, pp. 29-31.
7. Kamenskaya E.P., Chanchikova A.A. The influence of various methods of fermentation of beer wort on the quality indicators of light beer. Polzunovsky bulletin, 2020, no. 3, pp. 48-54.
8. Niyonsaba T. The process of basic beer fermentation as a multiparametric technological process. Modern trends in the development of science and technology, 2016, no. 8-2, pp. 44-48.
9. Evaluation of beer quality depending on the raw materials used. I. A. Shabanova, L. A. Kiyashkina, V. B. Tsugkueva, L. H. Tokhtieva. Prospects for the development of the agro-industrial complex in modern conditions: proceedings of the 8th International Scientific and Practical Conference. April 18-19. Vladikavkaz: Gorsky State Agrarian University, 2019, pp. 278-280.
10. Pavlov V. A., Niyonsaba T. Dynamics of changes in beer wort parameters during the main fermentation of beer. Modern trends in the development of science and technology, 2015, no. 4-1, pp. 125-133.
11. Popsuiko A.V., Medvedeva L. I. Analysis of control contours for beer fermentation process parameters. XXVIII Interuniversity scientific and practical Conference of young scientists and students of Volzhsky: conference materials, Volzhsky. April 29 - May 02, 2023. Volzhsky: Volgograd State Technical University, 2023, pp. 89-91.
12. Ponomareva O. I., Borisova E. V., Prokhorchik I. P. Lactic acid bacteria in the production technology of sour ales. Bulletin of the International Academy of Refrigeration, 2018, no. 2, pp. 61-70.
13. Salkenova A. E. Fermentation of brewer's yeast as a biotechnological process. Education and science in modern realities: Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference, Cheboksary, June 04, 2018. Editorial board: O. N. Shirokov [et al.] Cheboksary: Limited Liability Company Center for Scientific Cooperation Interactive Plus, 2018, pp. 15-19.
14. Tretyak L. N., Rebezov M. B., Kizatova M. J. Methodological foundations of ensuring the quality of beer and beer drinks. Almaty: IP Ashirbaev, 2016, p. 209.
15. Khokonova M. B., Musalmagomedov M. M. Changes in beer quality indicators during fermentation. Collection of selected articles based on scientific conferences of the State Scientific Research Institute «Development»: Conference Proceedings, St. Petersburg, June 26-28, 2019. Vol. part 2. St. Petersburg: Private scientific and educational institution of additional professional education National Research Humanitarian Institute «National development», 2019, pp. 212-214.

Информация об авторах

Д.А. Казарцев – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии виноделия, броидильных производств и химии им. Г.Г. Агабальянца;

А.И. Галкин – аспирант;

С.В. Карачев – обучающийся.

Information about the authors

D.A. Kazartsev – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Technology of Winemaking, Fermentation and Chemistry named after G.G. Agabalyantsa;

A.I. Galkin – Postgraduate student;

S.V. Karachev – Student.

Научная статья

УДК 664.72

DOI 10.24888/2541-7835-2025-35-1-61-69

ОЦЕНКА СУММАРНОГО ТЕПЛОВОГО ЭФФЕКТА ПРОЦЕССОВ ПРИ САМОСОГРЕВАНИИ И САМОВОЗГОРАНИИ ОБРАЗЦОВ ЗЕРНА РЖИ

Лоозе Валерий Владимирович¹, **Корольченко Игорь Александрович²**,
Казарцев Дмитрий Анатольевич³✉

^{1,2}Научно-исследовательский институт проблем хранения Росрезерва, Москва, Россия

³Московский государственный университет технологий и управления
им. К.Г. Разумовского (Первый казачий университет), Москва, Россия

¹vaalfa@yandex.ru✉

³kda_79@mail.ru

Аннотация. В работе рассмотрены стадии процесса самосогревания зерна. Обоснована необходимость оперативного контроля температурного режима хранения для предотвращения порчи зерна и развития теплофизических процессов, приводящих к самовозгоранию и даже взрыву, с отягчающими разрушительными последствиями. Предложено расчет безопасных условий среды для хранения и транспортирования самовозгорающихся материалов производить с учетом значений их удельного тепловыделения. Определено значение удельного по массе тепловыделения образцов зерна ржи при нагреве до критических для процесса самовозгорания температур. Удельное тепловыделение составило 1,55 МДж/кг. Экспериментальным путём показано, что температура испытываемых на воздухе образцов не восстанавливалась полностью на уровне прогрева термостатируемого сосуда, а продолжала немного превышать температуру рабочей камеры в течение 300 и более минут. Дифференциальный термический анализ зерна ржи показал, что тепловой эффект экзотермических процессов, происходящих в зерне при температурах до критических для самовозгорания, составляет 10 % величины тепловыделения зерна при полном его разложении. Найденное значение теплового эффекта зерна ржи в дальнейшем может быть использовано при расчетах безопасных условий хранения зерновой массы с сохранением количественных и качественных характеристик.

Ключевые слова: самосогревание, самовозгорание, зерно, условия хранения, безопасность, температура

Для цитирования: Лоозе В.В., **Корольченко И.А.**, Казарцев Д.А. Оценка суммарного теплового эффекта процессов при самосогревании и самовозгорании образцов зерна ржи // Агропромышленные технологии Центральной России. 2025. № 1(35). С. 61-69. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2025-35-1-61-69>.

Original article

ASSESSMENT OF THE TOTAL THERMAL EFFECT OF PROCESSES DURING SELF-HEATING AND SPONTANEOUS IGNITION OF RYE GRAIN SAMPLES

Valery V. Looze¹, **Igor A. Korolchenko²**, Dmitry A. Kazartsev³✉

^{1,2}Research Institute for Storage Problems of Rosrezerv, Moscow, Russia

³K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management
(the First Cossack University), Moscow, Russia

¹vaalfa@yandex.ru✉

³kda_79@mail.ru

Abstract. The paper considers the stages of the process of self-heating of grain. The necessity of operational control of the temperature regime of storage is substantiated to prevent grain spoilage and development of thermophysical processes leading to spontaneous combustion and even explosion with aggravating destructive consequences. It is proposed to calculate safe environmental conditions for storage and transportation of spontaneously combustible materials taking into account the values of their specific heat release. The value of specific heat release by mass of rye grain samples when heated to temperatures critical

for the process of spontaneous combustion was determined. Specific heat release was 1.55 MJ/kg. Experiments showed that the temperature of the samples tested in air was not completely restored to the level of heating of the thermostatted vessel, but continued to slightly exceed the temperature of the working chamber for 300 minutes or more. Differential thermal analysis of rye grain showed that the thermal effect of exothermic processes occurring in grain at temperatures up to critical for spontaneous combustion is 10% of the amount of heat released by grain during its complete decomposition. The found value of the thermal effect of rye grain can be used in the future to calculate safe storage conditions for grain mass while maintaining quantitative and qualitative characteristics.

Keywords: self-heating, spontaneous combustion, grain, storage conditions, safety, temperature

For citation: Looze V.V., [Korolchenko I.A.] Kazartsev D.A. Assessment of the total thermal effect of processes during self-heating and spontaneous ignition of rye grain samples. *Agro-industrial technologies of Central Russia*, 2025, no. 1(35), pp. 61-69. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2025-35-1-61-69>.

Введение

Образование и накопление тепла в зерновой массе происходит вследствие нескольких взаимосвязанных факторов: интенсивного дыхания зерна – основной культуры и семян, входящих в состав примесей; активного развития микроорганизмов и жизнедеятельности насекомых и клещей.

Активность всех вышеперечисленных живых компонентов зерновой массы сопровождается выделением тепла. Вследствие низкой тепло- и температуропроводности образующееся тепло задерживается в зерновой массе и может приводить к активизации жизнедеятельности живых компонентов, повышению температуры и как следствие, к самосогреванию. Вначале в зерновой массе может возникать гнездовое (очаговое) самосогревание из-за явления термовлагодиффузии при изменении температурного режима хранения, образования в зерновой массе участков с повышенным содержанием примесей и пыли (следовательно, и микроорганизмов) в результате объединения двух и более партий зерна разнородного по содержанию примесей и влажности, скопления насекомых и клещей, попадания влаги в зерновую массу. Самосогревание развивается по следующим стадиям [3]:

1. Первая стадия. Эта стадия характеризуется усиленным дыханием зерна и сравнительно медленным нарастанием температуры до 24...30 °С. При этом визуально заметных изменений в состоянии зерна не наблюдается; ухудшаются посевные свойства семян, падает количество и качество клейковины. Семенное зерно полностью теряет свои посевные качества. Такое зерно возможно использовать на продовольственные цели только после обработки и при подсортировке.

2. Вторая стадия. Температура повышается до 24...38 °С, зерно заметно отпотевают, сыпучесть его понижается, появляются продукты брожения, обладающие легким запахом солода и выпеченного хлеба. При этой температуре микроорганизмы, в частности плесневые грибы, бурно развиваются сначала на поврежденных и недоразвитых зернах, а затем и на здоровых, в первую очередь, поражая зародыш, зерно начинает темнеть [3]. Технологический потенциал зерна утрачен, такое зерно не пригодно для продовольственных и фуражных целей, зерно переходит из класса товарного в зерно для технических целей.

3. Третья стадия. Температура повышается до 50° С и выше, зерно издает сильный затхлый и гниlostный запах, сыпучесть всех культур снижается, а овес с малым натурным весом теряет ее совсем, цвет зерна сильно изменяется, у влажного зерна ржи и пшеницы оболочка приобретает темный цвет. Такое зерно подлежит утилизации и непригодно даже на технические цели.

Самосогревание возникает только в тех случаях, когда за зерновыми массами нет надлежащего контроля и ухода. Необходимо своевременно обнаруживать начало процесса самосогревания и быстро его ликвидировать. В том случае, когда очаг самосогревания своевременно не обнаружен, рост температуры зерновой массы продолжается и помимо снижения качества зерна, может произойти возгорание и взрыв [12]. Мощность взрыва способна разрушить несущие конструкции силосов (складов) зернохранилища, а также привести к человеческим жертвам. Расчет безопасных условий среды для хранения и транспортирования са-

мовозгорающихся материалов производится с учетом значений их удельного тепловыделения. Значения теплоты сгорания многих самовозгорающихся материалов известны. Термографическое исследование (в сочетании с химическим анализом продуктов разложения) органических материалов показывает, что основная доля выделяющегося тепла соответствует реакциям, происходящим при температурах среды от 500 К и выше. При этих температурах происходит разрыв наиболее прочных связей исходной химической структуры материала (ароматические циклы и т. п.). Разогрев материала при достижении критических условий теплового самовозгорания обычно намного ниже таких температур.

Цель исследования – определение величины теплового эффекта термоокисления зерна ржи в различных условиях прогрева зерновой массы.

Материалы и методы исследований

Исследования проводились на базе федерального государственного бюджетного учреждения «Научно-исследовательский институт проблем хранения Росрезерва». Объектом исследования были зёрна ржи. Содержание влаги в зерновой массе 11 %. Усреднённая насыпная плотность зерна в контейнерах 730 кг/м³. Экспериментальное определение теплового эффекта выполнялось по известной методике [11], с учётом тепловлажностных исследований [8] в соответствии с ГОСТ 12.1.044-89 (ИСО 4589-84). В ходе экспериментов задавалась температура среды в рабочей камере, записывалось изменение разности температуры среды и в центре исследуемого образца (ΔT). Внешняя поверхность контейнеров с зерном экранировалась с помощью алюминиевой фольги (с отверстиями для газообмена и термопары).

Испытания проводились при пяти различных температурах среды в рабочей камере с шагом 5 °С, начиная от критической температуры самовозгорания, которая определялась экспериментально. Количество теплоты, выделяющееся при реакции термоокисления, определялось в соответствии с выражением:

$$Q = \frac{\int_0^{\tau_h} \alpha \cdot S \cdot \Delta T(\tau) d\tau}{m} = \frac{\alpha \cdot S \cdot \int_0^{\tau_p} (f_1(\tau) + f_2(\tau)) d\tau}{m}, \quad (1)$$

где τ и τ_k – текущее время опыта и продолжительность эксперимента, с;

m – масса материала, кг;

α – коэффициент теплоотдачи;

$\Delta T(\tau)$ – текущее изменение температуры исследуемого вещества в эксперименте;

$f_1(\tau)$ и $f_2(\tau)$ – найденные аппроксимацией виды функций изменения текущей температуры во времени, соответственно, до максимального значения разогрева материала $\Delta T_{\max}$ и после;

τ_k – время эксперимента, измеряется с момента выравнивания температуры образца и температуры среды ($T - T_0 = 0$), τ_k вычисляется из условия $f_2(\tau) = 0$.

В рассматриваемых условиях эксперимента коэффициент теплоотдачи реагирующего образца рассчитывался по следующему выражению [2]:

$$\alpha = 0,54 \left(\frac{g}{\nu a} D^3 \frac{RT_0}{E} \right)^{0,25} \frac{\lambda_b}{D} + 4\sigma T_0^3 \quad (2),$$

где D – характерный размер образца (высота), м;

λ_b – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/(м К);

g – ускорение силы тяжести;

ν – кинематическая вязкость воздуха, м²/с;

a – температуропроводность воздуха, м²/с;

T_0 – температура среды в термостате, К;

$R = 8,314$ – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К);

E – энергия активации, Дж/(моль·К);

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{(-8)}$ – постоянная Стефана-Больцмана, Вт/м²К⁴.

Коэффициент теплоотдачи определялся согласно тех же температур с погрешностью не более 7% по выражению:

$$\alpha = 0,54 \sqrt{\frac{g}{\nu a}} D^3 \frac{(T_0 - T_n)}{T_0} \frac{\lambda_g}{D} + \omega \sigma (T_0 + T_n) \cdot (T_0^2 + T_n^2), \quad (3)$$

где T_n – начальная температура образца, К;

ω – поглощательная способность материалов.

Расчет поглощательной способности в условиях эксперимента [7] был выполнен по уравнению:

$$\omega = 1,35 \cdot 10^{(-3)} T_0 - 0,34, \quad (4).$$

В выполненных экспериментах по оценке теплового эффекта процесса окисления зерна большая часть наружной поверхности исследуемого образца экранировалась от окружающей среды металлическим контейнером. Расчет произведения αS производился для реагирующего материала с использованием формул (2), (3) и учетом изменения составляющей радиационного теплообмена.

Результаты исследований и их обсуждение

В экспериментах с отсутствием возгорания зерна расходовалось не более 25 % массы вещества, что может характеризовать превращения материала в режиме теплообмена, соответствующем критическим условиям самовозгорания. Полученные кривые изменения избыточного разогрева образца по сравнению с температурой среды 501 К (кривая 1), 506 К (кривая 2), 511 К (кривая 3), 516 К (кривая 4), 521 К (кривая 5), (см. Рисунок 1), описываются следующими зависимостями теории регулярного режима [6, 9]:

$$\Delta T(\tau) = 0,0589 + 0,019 \cdot \tau - 1,7467 \cdot 10^{(-5)} \cdot \tau^2 + 7,8298 \cdot 10^{(-9)} \cdot \tau^3 - 1,318 \cdot 10^{(-12)} \cdot \tau^4, \quad (5)$$

$$\Delta T(\tau) = 10,555 - 5,2926 \cdot 10^{(-5)} \cdot \tau - 1,1926 \cdot 10^{(-7)} \cdot \tau^2 + 8,0723 \cdot 10^{(-12)} \cdot \tau^3 - 1,617 \cdot 10^{(-16)} \cdot \tau^4. \quad (6)$$

для 501 К при $\tau = 0 \div 4810$ с и $\tau = 4810 \div 17200$ с, соответственно;

$$\Delta T(\tau) = -0,2175 + 0,0548 \cdot \tau - 8,0258 \cdot 10^{(-5)} \cdot \tau^2 + 5,2119 \cdot 10^{(-8)} \cdot \tau^3 - 1,2369 \cdot 10^{(-11)} \cdot \tau^4, \quad (7)$$

$$\Delta T(\tau) = 17,017 - 0,0015 \cdot \tau + 3,7834 \cdot 10^{(-8)} \cdot \tau^2 - 1,9737 \cdot 10^{(-12)} \cdot \tau^3 + 7,4244 \cdot 10^{(-17)} \cdot \tau^4, \quad (8)$$

для 506 К при $\tau = 0 \div 2420$ с и $\tau = 2420 \div 14800$ с, соответственно;

$$\Delta T(\tau) = 0,0621 + 0,0129 \cdot \tau + 5,6835 \cdot 10^{(-5)} \cdot \tau^2 - 7,6642 \cdot 10^{(-8)} \cdot \tau^3 + 2,707 \cdot 10^{(-11)} \cdot \tau^4, \quad (9)$$

$$\Delta T(\tau) = 24,5929 - 0,00093 \cdot \tau - 6,2739 \cdot 10^{(-7)} \cdot \tau^2 + 7,1127 \cdot 10^{(-11)} \cdot \tau^3 - 2,3537 \cdot 10^{(-15)} \cdot \tau^4, \quad (10)$$

для 511 К при $\tau = 0 \div 2610$ с и $\tau = 2610 \div 7940$ с, соответственно;

$$\Delta T(\tau) = -0,0477 + 0,0461 \cdot \tau - 3,4923 \cdot 10^{(-5)} \cdot \tau^2 + 2,796 \cdot 10^{(-8)} \cdot \tau^3 - 1,1587 \cdot 10^{(-11)} \cdot \tau^4, \quad (11)$$

$$\Delta T(\tau) = 33,396 + 1,5578 \cdot 10^{(-3)} \cdot \tau - 5,1016 \cdot 10^{(-6)} \cdot \tau^2 + 1,0663 \cdot 10^{(-9)} \cdot \tau^3 - 6,578 \cdot 10^{(-14)} \cdot \tau^4, \quad (12)$$

для 516 К при $\tau = 0 \div 2500$ с и $\tau = 2500 \div 8800$ с, соответственно;

$$\Delta T(\tau) = 0,0107 + 0,0665 \cdot \tau + 8,648 \cdot 10^{(-6)} \cdot \tau^2 - 7,358 \cdot 10^{(-8)} \cdot \tau^3 + 3,5391 \cdot 10^{(-11)} \cdot \tau^4, \quad (13)$$

$$\Delta T(\tau) = 39,685 + 3,879 \cdot 10^{(-3)} \cdot \tau - 9,9072 \cdot 10^{(-6)} \cdot \tau^2 + 2,3962 \cdot 10^{(-9)} \cdot \tau^3 - 1,7406 \cdot 10^{(-13)} \cdot \tau^4, \quad (14)$$

для 521 К при $\tau = 0 \div 1190$ с и $\tau = 1190 \div 4900$ с, соответственно,

Проинтегрировав (5) – (14) в пределах значений τ с рассчитанными количествами теплоты, выделяющимися при реакциях термоокисления (1), получили значения удельной теплоты реакций окисления зерна (см. табл. 1).

Таблица 1. Значения интегрирования теплоты реакции окисления зерна

Температура среды, К	Теплота реакции, кДж/кг
501	1542
506	1465
511	1537
516	1568
521	1622

Согласно выполненным расчетам, удельное тепловыделение зерна при температурах среды, близких к критическим, в выполненных экспериментах составляло 1465–1622 кДж/кг. Это $\approx$ в 10 раз ниже известных значений теплоты сгорания зерна (17,37 МДж/кг) [9]. Предвзрывной разогрев материалов при температуре самовозгорания определялся в соответствии с [4, 10] для цилиндрических образцов:

$$\Delta T_1 = 1,888 \cdot \frac{R \cdot T_1^2}{E}, \quad (15)$$

где T_1 – критическая температура процесса самовозгорания для данного размера образца, К.

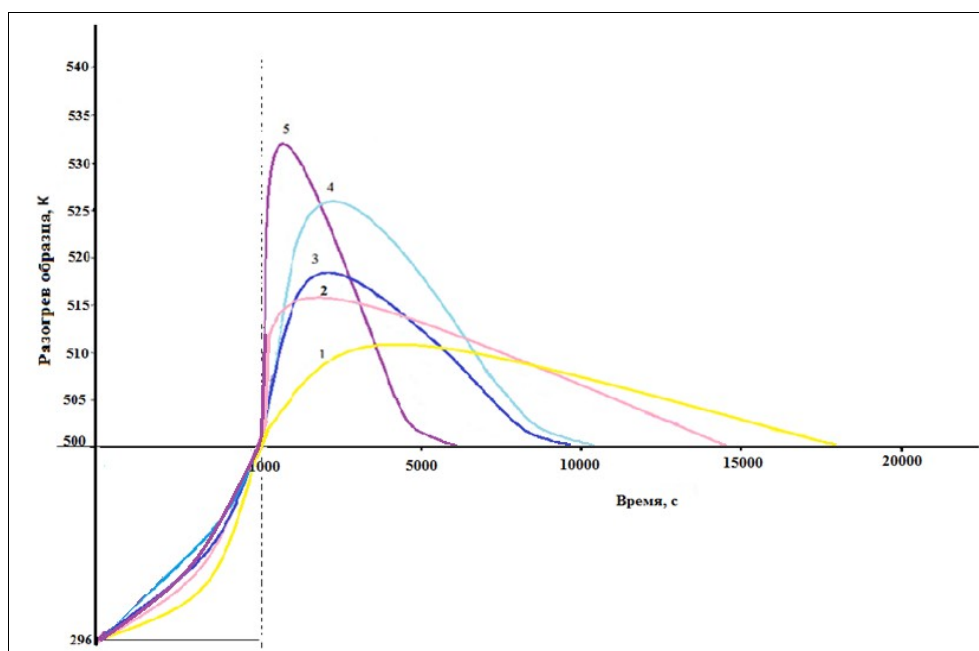


Рисунок 1. Кривые разогрева зерна при разных температурах среды

Разогрев материала, термостатируемого при более низких температурах, оценивался из условия равновесия тепловыделения и теплоотдачи образца при температурах критической и эксперимента. При этом разогрев материала ΔT_1 , термостатируемого при температуре T_1 , может быть определен по формуле:

$$\Delta T_i = \frac{Q \cdot k_0 \cdot \rho \cdot V}{\alpha \cdot S} e^{-E/(RT_i)}, \quad (16)$$

где k_0 – константа скорости реакции горения;
 ρ – насыпная плотность материала, кг/м³;
 V – объем образца, м³.

Тогда разогрев образца ΔT_2 , термостатируемого при T_2 , определится из выражения:

$$\Delta T_2 = \Delta T_1 / e^{\frac{E(T_1 - T_2)}{R T_1 T_2}}, \quad (17)$$

Результаты расчетов и выполненных экспериментов показали, что зерно перед возгоранием прогревается до температур не выше 460–545 К.

На аппаратуре DSC 204 F1 Phoenix® выполнен дифференциальный термический анализ зерна при прогреве образца до 545 К, термостатировании его в этих условиях (см. рис. 2), где красный график №1 характеризует изменение температуры с образцом, синий график №2 характеризует удельное тепловыделение исследуемого вещества.

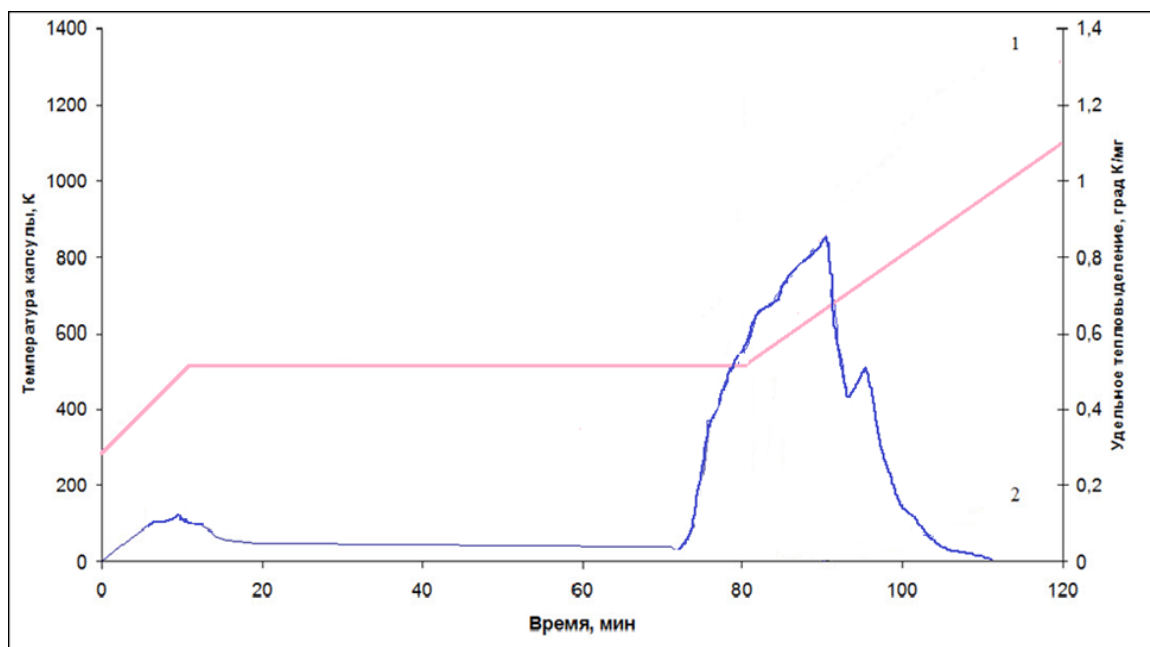


Рисунок 2. Дифференциальный термический анализ зерна с приостановкой нагрева образца при 545 К

Получены также графики, характеризующие полное термоокислительное разложение исследуемого вещества при равномерном прогреве со скоростью 20 град/мин (см. рис. 3).

Как видно из графиков, Рисунок 2, температура материала падает до определенного значения и не меняется, если принудительный нагрев образца не продолжать. Дальнейший прогрев исследуемого вещества до температур выше 570-600 К приводит к значительно более интенсивному, чем на первом этапе, тепловыделению. Сравнить площади интегралов зависимостей $\Delta T(\tau)$, Рисунок 2 и Рисунок 3 можно без определения точных значений коэффициента теплоотдачи образцов в условиях выполнения дифференциального термического анализа.

Величина интегралов оценивалась по относительному весу фрагментов этих зависимостей. Тепловой эффект экзотермических процессов, происходящих в образце при температурах до 545 К, Рисунок 2, не превышает 6-10 % величины тепловыделения зерна при полном

разложении Рисунок 3. Это практически совпадает с результатами, полученными для условий экспериментального изучения теплового самовозгорания зерна.

Авторами работы [1] при изучении условий термического разложения овса и ячменя показано, что взаимодействие образца с кислородом воздуха приводит к продолжению экзотермических превращений после реализации основного теплового эффекта. Как и в наших опытах с зерном, Рисунок 2, температура испытываемых на воздухе образцов не восстанавливалась полностью на уровне прогрева термостатируемого сосуда, а продолжала немного превышать температуру рабочей камеры в течение 300 и более минут. Если взаимодействие материала с кислородом воздуха отсутствует (при испытаниях в атмосфере азота), температура образца восстанавливается.

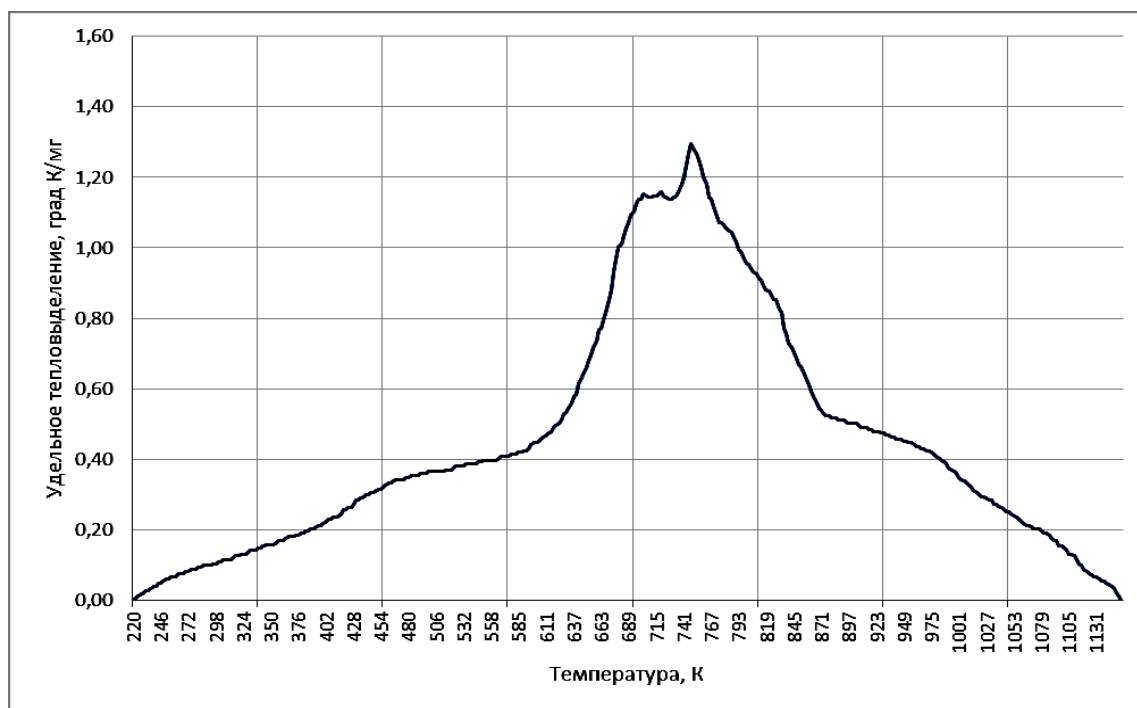


Рисунок 3. Дифференциальный термический анализ зерна при непрерывном прогреве (скорость нагрева 20 град/мин)

Вышеперечисленные особенности с большой степенью вероятности относятся и к термическим превращениям других материалов растительного происхождения. Термоокислительные процессы в конденсированной фазе (характеризуют остаточный разогрев материала) сопровождаются невысокой интенсивностью выделения тепла. Для того, чтобы это тепловыделение существенно повлияло на величину суммарного теплового эффекта потребуется значительное время (до сотен минут). В рассматриваемых условиях эксперимента время индукции до самовозгорания зерна при критических температурах не превышало 10-20 минут. Удельное тепловыделение самовозгорающихся материалов растительного происхождения, характеризующее условия перехода процессов в тепловой взрыв, без существенной погрешности может оцениваться в результате проведения вышеописанных экспериментальных исследований и рассчитываться по формуле (1).

Скорость и степень развития процесса самосогревания зерновых культур, поступающих на хранение, зависит от множества факторов, таких как: качество зерновых, температуры, влажности и сорности зерновой массы, состояния стен и кровли хранилища, типа силосов и их загруженности. При длительном хранении на передний план выходит вопрос измерения и контроля температуры зерновой массы.

Выводы

1. В работе определено значение удельного по массе тепловыделения образцов зерна ржи при нагреве до критических для процесса самовозгорания температур. Удельное тепловыделение составило 1,55 МДж/кг.
2. Дифференциальный термический анализ зерна ржи показал, что тепловой эффект экзотермических процессов, происходящих в зерне при температурах до критических для самовозгорания, составляет 10 % величины тепловыделения зерна при полном его разложении.
3. Найденное значение теплового эффекта зерна ржи в дальнейшем может быть использовано при расчетах безопасных условий хранения зерновой массы.

Список источников

1. Вакс В.Л. и др. Терагерцовая газовая спектроскопия высокого разрешения для анализа состава продуктов термического разложения зерна злаков (овса, ячменя) / В. Л. Вакс, Е. Г. Домрачева, С. И. Приползин [и др.] // Журнал прикладной спектроскопии. 2019. Т. 86. № 5. С. 778-784.
2. Вогман Л. П., Горшков В.И., Простов Е.Е. Обоснование методики по определению условий теплового самовозгорания веществ и материалов в новой редакции ГОСТ 12.1.044 // Пожарная безопасность. 2016. № 4. С. 60-67.
3. Глухих М. А. Технология хранения и переработки зерна и семян. Санкт-Петербург: Лань, 2023. 116 с.
4. Долматова М.О. Тепловые и массообменные процессы в химической технологи. Издательство Уральского университета, 2019. 92 с.
5. Карпов Д.Ф. Активный метод теплового контроля теплопроводности строительных материалов и изделий // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2019. № 7. С. 57-62.
6. Кох-Татаренко В.С. и др. Метод и измерительная система теплофизического контроля / В.С. Кох-Татаренко, С.С. Никулин, Н.П. Жуков, А.И. Кочетков // Успехи в химии и химической технологии. 2016. Т. 30. № 10 (179). С. 43-45.
7. Медельцев А.А. и др. Моделирование процессов теплообмена внутри герметичного корпуса БИНС в мультифизичной постановке в ANSYS CFX и system Coupling / А. А. Медельцев, П. А. Шаповалов, М. В. Воронов [и др.] // Известия ЮФУ. Технические науки. 2022. № 1(225). С. 140-152.
8. Пиляева О.В. Исследования по определению тепловлажностных характеристик плотного слоя зерна // Эпоха науки. 2015. № 4. С. 378-381.
9. Пуцев Д.И. и др. Оценка возможности применения полевого моделирования пожара для проведения расчетов пожаров в зданиях и помещениях / Д. И. Пуцев, Ю. В. Кривцов, Ю. М. Грошев, Н. А. Лобанова // Вестник НИЦ Строительство. 2023. № 2(37). С. 37-70.
10. Седов Д. В., Бемяк А. Л. Об оценке возможности самовозгорания зерна пшеницы при его силосном хранении в элеваторе // Международный научно-исследовательский журнал. 2024. № 4(142).
11. Сорочинский В.Ф., Догадин А.Л. Изменение полей влагосодержания и температуры в зерне при сушке // Хранение и переработка сельхозсырья. 2019. № 1. С. 47-56.
12. Сорочинский В. Ф. Тепловой режим слоя зерна у внутренней стенки металлических силосов // Повышение эффективности процессов и аппаратов в химической и смежных отраслях промышленности: сборник научных трудов. Том 1. Москва, 2016. С. 183-187.

References

1. Vaks V.L. et al. High-resolution terahertz gas spectroscopy for analyzing the composition of products of thermal decomposition of grain grains (oats, barley). V. L. Vaks, E. G. Domracheva, S. I. Pripolzin [et al.]. Journal of Applied Spectroscopy, 2019, vol. 86, no. 5, pp. 778-784.

2. Vogman L. P., Gorshkov V.I., Prostov E.E. Substantiation of the methodology for determining the conditions of thermal spontaneous combustion of substances and materials in the new edition of GOST 12.1.044. Fire safety, 2016, no. 4, pp. 60-67.
3. Glukhikh M. A. Technology of storage and processing of grain and seeds. St. Petersburg: Lan, 2023. 116 p.
4. Dolmatova M.O. Thermal and mass transfer processes in chemical technology. Ural University Publishing House, 2019. 92 p.
5. Karpov D.F. Active method of thermal control of thermal conductivity of building materials and products. Bulletin of Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov, 2019, no. 7, pp. 57-62.
6. Koh-Tatarenko V.S. et al. Method and measuring system of thermophysical control. V.S. Koh-Tatarenko, S.S. Nikulin, N.P. Zhukov, A.I. Kochetkov. Advances in chemistry and chemical technology, 2016, Vol. 30, No. 10 (179), pp. 43-45.
7. Medeltsev A.A. et al. Modeling of heat exchange processes inside a sealed BINC enclosure in a multiphysical formulation in ANSYS CFX and system Coupling. A. A. Medeltsev, P. A. Shapovalov, M. V. Voronov [et al.]. News SFU. Technical sciences, 2022, no. 1(225), pp. 140-152.
8. Pilyaeva O.V. Research on determining the heat and moisture characteristics of a dense layer of grain. Epoch of Science, 2015, no. 4, pp. 378-381.
9. Putsev D.I. et al. Assessment of the possibility of using field fire modeling to calculate fires in buildings and premises. D. I. Putsev, Yu. V. Krivtsov, Yu. M. Groshev, N. A. Lobanova. Bulletin of NIC Construction, 2023, no. 2(37), pp. 37-70.
10. Sedov D. V., Belyak A. L. On the assessment of the possibility of spontaneous combustion of wheat grain during its silage storage in an elevator. International Scientific Research Journal, 2024, № 4(142).
11. Sorochinsky V.F., Gugadin A.L. Changes in moisture content fields and temperature in grain during drying. Storage and processing of agricultural raw materials, 2019, no. 1. pp. 47-56.
12. Sorochinsky V. F. Thermal regime of the grain layer at the inner wall of metal silos. Improving the efficiency of processes and apparatuses in chemical and related industries: collection of scientific papers. Vol. 1. Moscow. 2016, pp. 183-187.

Информация об авторах

В.В. Лоозе – аспирант;

И.А. Корольченко – доктор технических наук, доцент, начальник отдела нефтепродуктов;

Д.А. Казарцев – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии виноделия, броидильных производств и химии им. Г.Г. Агабальянца.

Information about the authors

V.V. Looze – Postgraduate student;

I.A. Korolchenko – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Petroleum Products Department;

D.A. Kazartsev – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Technology of Winemaking, Fermentation and Chemistry named after G.G. Agabalyantsa.

Научная статья

УДК 637.146

DOI 10.24888/2541-7835-2025-35-1-70-78

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕЗАКВАСОЧНЫХ ПРОБИОТИЧЕСКИХ МОЛОЧНОКИСЛЫХ БАКТЕРИЙ В ТЕХНОЛОГИИ ВЫСОКОЖИРНЫХ ПРОДУКТОВ

Никитина Елена Владимировна^{1✉}, Астахов Никита Михайлович²,
Петрова Татьяна Александровна³

^{1,2,3} Казанский национальный исследовательский технологический университет,
Республика Татарстан, Казань, Россия

¹ev-nikitina@inbox.ru✉

²qwertycity1789@gmail.com

³tanya.yurtaeva.95@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена изучению возможности использования новых незаквасочных штаммов молочнокислых бактерий для изготовления сметаны. Расширение спектра используемых молочнокислых бактерий, в том числе с пробиотическими свойствами, в технологиях, основанных на брожении, является важной задачей для устойчивого развития рынка заквасок. В качестве модели в исследовании использовали сливки 15 % жирности, которые сквашивали сметанной закваской (*Lactococcus lactis* subsp. *lactis*, *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*, *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* biovar. *diacetylactis*), а также отдельно *Limosilactobacillus fermentum* AG8 или *Lactiplantibacillus plantarum* AG9. После активной фазы ферментации сквашенные сливки хранили при 4 °С в течение 14 суток. В работе были использованы стандартные методики оценки кислотообразования, степени окисления животных жиров. Титруемая кислотность получаемых сквашенных сливок при использовании новых штаммов была ниже, чем в варианте классической сметаны. Однако выявлено, что продукт, получаемый в вариантах с *L.plantarum* AG9 и *L.fermentum* AG8, обладает большим антиоксидантным потенциалом, особенно в тесте с 2,2-ди-фенил-1-пикрилгидразилом на радикал-связывающую активность. Применение новых штаммов в сквашенных сливках позволило уменьшить перекисное число и количество малонового диальдегида в процессе хранения. Выявлена целесообразность исследований по использованию *L.plantarum* AG9 и *L.fermentum* AG8 в составе классической закваски для сметаны.

Ключевые слова: сметана, пробиотические бактерии, сквашивание, антиоксидантные свойства

Финансирование: работа выполнена за счет гранта Академии наук Республики Татарстан, предоставленного молодым кандидатам наук (постдокторантам) с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно-исследовательских работ, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан в рамках Государственной программы Республики Татарстан «Научно-технологическое развитие Республики Татарстан», грант № 117/2024-ПД.

Для цитирования: Никитина Е.В., Астахов Н.М., Петрова Т.А. Оценка перспективы использования незаквасочных пробиотических молочнокислых бактерий в технологии высокожирных продуктов // Агропромышленные технологии Центральной России. 2025. № 1(35). С. 70-78. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2025-35-1-70-78>.

Original article

ASSESSMENT OF THE PROSPECTS FOR THE USE OF NON-STARTER PROBIOTIC LACTIC ACID BACTERIA IN THE TECHNOLOGY OF HIGH-FAT PRODUCTS

Elena V. Nikitina^{1✉}, Nikita M. Astakhov², Tatiana A. Petrova³

^{1,2,3} Kazan National Research Technological University, Republic of Tatarstan, Kazan, Russia

¹ev-nikitina@inbox.ru✉

²qwertycity1789@gmail.com

³tanya.yurtaeva.95@mail.ru

Abstract. The article is devoted to the study of the possibility of using new non-starter strains of lactic acid bacteria for the production of sour cream. Expansion of the range of lactic acid bacteria used, including those with probiotic properties, in fermentation-based technologies is an important task for the sustainable development of the starter market. As a model, the study used cream of 15% fat content, which was fermented with sour cream starter (*Lactococcus lactis* subsp. *lactis*, *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*, *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* biovar. *diacetylactis*) and separately *Limosilactobacillus fermentum* AG8 or *Lactiplantibacillus plantarum* AG9. After the active phase of fermentation, the fermented cream was stored at 4 °C for 14 days. Standard methods were used in the work to assess acid formation and the degree of oxidation of animal fats. The titratable acidity of the obtained squashed cream using the new strains was lower than in the variant of classic sour cream. However, it was found that the product obtained in variants with *L. plantarum* AG9 and *L. fermentum* AG8, has a greater antioxidant potential, especially in the test with 2,2-di-phenyl-1-picrylhydrazyl radical-binding activity. The use of the new strains in squashed cream reduced the peroxide number and the amount of malonic dialdehyde during storage. The feasibility of studies on the use of *L. plantarum* AG9 and *L. fermentum* AG8v in the classical sour cream starter was revealed.

Keywords: sour cream, probiotic bacteria, fermentation, antioxidant properties

Funding: the work was carried out at the expense of a grant from the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, provided to young candidates of sciences (postdoctoral fellows) for the purpose of defending their doctoral dissertation, performing research, as well as performing labor functions in scientific and educational organizations of the Republic of Tatarstan within the framework of the State Program of the Republic of Tatarstan «Scientific and Technological Development of the Republic of Tatarstan», grant No. 117/2024-PD.

For citation: Nikitina E.V., Astakhov N.M., Petrova T.A. Assessment of the prospects for the use of non-starter probiotic lactic acid bacteria in the technology of high-fat products. *Agro-industrial technologies of Central Russia*, 2025, no. 1(35), pp. 70-78. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2025-35-1-70-78>.

Введение

Традиционно в России пользуется популярностью кисломолочные продукты с повышенной или высокой жирностью. К таким востребованным продуктам относится сметана, которую используют в питании как самостоятельный продукт, так и в виде соуса к различным блюдам, добавляя к ней ароматические приправы. В международном сообществе сметану называют ферментированными сливками, этот молочный продукт обладает уникальным слегка уксусным вкусом. Изготавливается из высококачественных сливок в качестве сырья и заквашивается молочнокислыми бактериями (МКБ). В качестве заквасочных микроорганизмов по ТР ТС 033/2013 регламентируется использование лактококков или смеси лактококков и термофильных молочнокислых стрептококков. Традиционно производители заквасок используют следующие основные виды бактерий *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*, *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*, также могут быть добавлены *Lactococcus lactis* subsp. *diacetylactis*, *Leuconostoc mesenteroides* subsp. *cremoris*, и *Streptococcus thermophilus*. С помощью этих бактерий осуществляется ферментация сливок, что позволяет продлить их срок хранения и придать характерный вкус и текстуру.

Формирование вкуса в кисломолочных продуктах тесно связано с метаболизмом используемых МКБ [8]. Основная роль в случае сметаны лежит на *Lactococcus lactis*, который широко используется для получения сметаны, йогуртов, сыров [10]. Например, в сырах при совместном использовании комбинации *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* и *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris* получают более богатую вкусовую композицию [11]. В процессе ферментации микроорганизмы выделяют большое количество ферментов для гидролиза белков, липидов, углеводов и других органических веществ, которые в конечном итоге преобразуются в низкомолекулярные вещества, такие как альдегиды, спирты, кетоны, эфиры и другие [16].

В последнее время стал популярен кластер исследований, посвященный введению в состав традиционных заквасок для кисломолочных продуктов незаквасочных МКБ с пробиотическими свойствами [5, 7, 12, 14]. О перспективности подхода по селекции и дальнейшему использованию пробиотических МКБ в пищевых технологиях свидетельствуют многие исследователи [2, 3, 4, 6]. Пищевые продукты являются удобной и эффективной матрицей для доставки пробиотических бактерий в желудочно-кишечный тракт человека. Клетки МКБ,

иммобилизованные на пищевой носитель становятся защищенными, что способствует их большему выживанию [1].

Ранее на территории Республики Татарстан были выделены ряд штаммов лактобацилл, в частности, *Limosilactobacillus fermentum* AG8 и *Lactiplantibacillus plantarum* AG9. Они были описаны и охарактеризованы, показаны их пробиотические свойства [9]. У них выявлен высокий потенциал по синтезу экзополисахаридов на стандартной среде Мэна, Рогоза и Шарпа (МРС) [13], а также при сквашивании молока [15]. Более того, был выявлен высокий антиоксидантный потенциал экзополисахаридов, синтезированных этими штаммами.

Цель исследования – оценить возможность применения *Limosilactobacillus fermentum* AG8 и *Lactiplantibacillus plantarum* AG9 в технологии сквашивания сливок, а также оценить роль этих бактерий в формировании антиоксидантных свойств и в сохранности молочного жира при хранении.

Материалы и методы исследований

Исследования проводились в 2023-2024 годах на кафедре Технологии мясных и молочных продуктов Казанского национального исследовательского технологического университета. Для получения контрольного образца сметаны использовали закваску «Лактосинтез» (Москва, Россия), в состав которой входит *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*, *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*, *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* biovar. *diacetylactis*. Для экспериментальных образцов использовали штаммы *Limosilactobacillus fermentum* AG8, *Lactiplantibacillus plantarum* AG9, которые были выделены из силоса. Они обеспечивали высокую скорость подкисления молока и проявляли пробиотические свойства [9]. МКБ хранили в бульоне МРС (HiMedia, Индия) с 50%-ным глицерином при -80 °С. Для получения рабочих культур аликвоту каждой культуры объемом 100 мкл индивидуально переносили в МРС-бульон и выращивали 18 ч в статических условиях при 37 °С. Предварительные культуры молочнокислых бактерий (МКБ) готовили путем инкубации при 40 °С в течение 16 ч в обезжиренном УВТ-молоке (Valio®, Россия). Для получения сквашенных сливок и сметаны прекультуры в количестве 2-3 % инокулировали в сливки (15 % жирности стерилизованные) и инкубировали при 32 °С в течение 14 ч с последующей стабилизацией при 4 °С и последующем хранении 14 сут.

Титруемую кислотность определяли согласно ГОСТ 3624-92.

Анализ восстановительной активности проводили, как описано ранее [7]. Для анализа восстановительной активности 1 г образца гомогенизировали в 5 мл дистиллированной воды, эту суспензию (продукт) использовали для анализа. Для получения водного экстракта смешивали 5 г образца и 5 мл дистиллированной воды, суспензию оставляли на 1 час при +4 °С, после чего центрифугировали при 2000 обор/мин, супернатант собирали для анализа. Для получения безбелкового экстракта (ББЭ) в 5 мл водного экстракта добавляли 10 мл 10 % трихлоруксусную кислоту, выдерживали 15 мин, потом центрифугировали 8000 обор/мин 10 мин при комнатной температуре, супернатант собирали и использовали для анализа.

Оценку радикал-связывающей активности (РСА) проводили с помощью 2,2-ди-фенил-1-пикрилгидразила (ДППГ) как описано [7]. Для анализа РСА 1 г образца гомогенизировали в 20 мл дистиллированной воды, эту суспензию (продукт) использовали для анализа. Для получения водного экстракта смешивали 1 г образца и 10 мл дистиллированной воды, суспензию оставляли на 1 час при +4 °С, после чего центрифугировали при 2000 обор/мин, супернатант собирали для анализа. Для получения безбелкового экстракта (ББЭ) в 5 мл водного экстракта добавляли 10 мл 10 % трихлоруксусную кислоту, выдерживали 15 мин, потом центрифугировали 8000 обор/мин 10 мин при комнатной температуре, супернатант собирали, далее разбавляли, к 3 мл ББЭ добавляли 9 мл дистиллированной воды, получившийся раствор использовали для анализа.

Перекисное число определяли по ГОСТ ISO 3960-2020, количество свободных жирных кислот (кислотное число) по ГОСТ Р 50457-92, количество малонового диальдегида по ГОСТ 32262-2013.

Статистический анализ. Для сравнения средних значений полученных результатов использовали t-тест, $p > 0,05$ для не значимых различий. Расчеты по работе осуществлялись с помощью программного обеспечения GrathPad Prism8.

Результаты исследований и их обсуждение

О принципиальной способности сквашивать жирное молочное сырье судили по показателю титруемой кислотности сливок. Выявлено, что по кислотообразующей активности штаммы *L.plantarum* AG9 и *L.fermentum* AG8 в варианте монокультур отстают от промышленной закваски, что отражается в более низком уровне титруемой кислотности сквашенных сливок (рис.1).

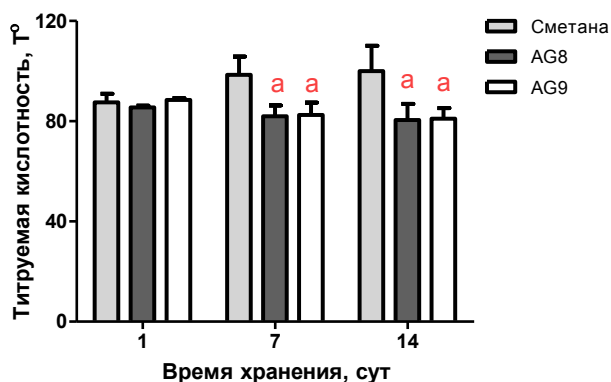


Рисунок 1. Титруемая кислотность сметаны и сквашенных сливок в процессе хранения (а – показывает достоверные различия на уровне 0,05 по сравнению с контролем Сметана).

Однако в процессе хранения в варианте Сметана происходит дальнейшее нарастание кислотности, что может привести к излишнему закислению продукта. В вариантах же с *L.plantarum* AG9 и *L.fermentum* AG8 постзакислительные процессы при хранении не наблюдаются. Способность сдерживать кислотонакопление при хранении перспективна, если использовать *L.plantarum* AG9 и *L.fermentum* AG8 в составе сметанной закваски.

Особый интерес исследования был сконцентрирован на антиоксидантных свойствах и состоянии жировой фракции ферментированных сливок в процессе хранения. В работе был применен подход разделения продукта на фракции. В первую очередь оценивали сам продукт, интегральная восстанавливающая активность продукта во всех вариантах значимо не отличались, хотя в период до 7 суток у варианта AG9 активность была выше (рис.2А), но через 14 суток хранения в экспериментальных вариантах AG8 и AG9 восстанавливающая способность снизилась ниже уровня контроля. Безбелковый экстракт через сутки хранения показал большую восстановительную активность в случае использования AG9, однако через 14 дней хранения активность этой фракции возросла во всех вариантах и была на одинаковом уровне (D700 примерно 0,13 опт.ед.) (рис.2 В). В случае тестирования сыворотки наоборот, через сутки большую активность проявлял вариант со сметанной закваской, однако после 14 дней хранения большую активность сохранил вариант с AG9. В случае использования AG8 восстанавливающая активность была на всех уровнях тестирования ниже вышеописанных вариантов.

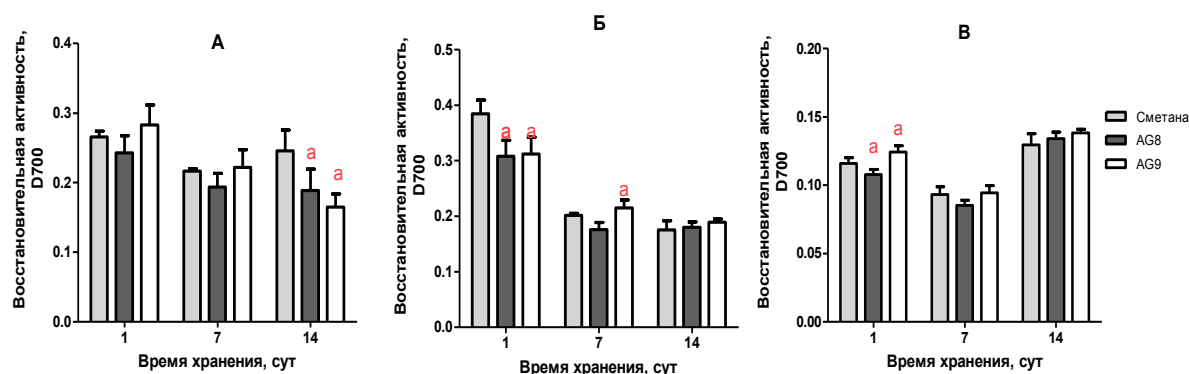


Рисунок 2. Восстановительная активность разных фракций сметаны и сквашенных сливок, полученных с использованием *L.fermentum* AG8 или *L. plantarum* AG9 (А – сквашенные сливки, Б – водный экстракт, В – безбелковый экстракт), (а – показывает достоверные различия на уровне 0,05 по сравнению с контролем Сметана).

Радикал-связывающая активность самого продукта - сквашенных сливок, была выше в вариантах с *L.fermentum* AG8 или *L. plantarum* AG9 на всем протяжении срока хранения (рис. 3). Аналогичная ситуация складывается в случае тестирования сыворотки, но через 14 дней хранения РСА вариантов с этими штаммами уступают лидирующие позиции. При тестировании РСА у безбелкового экстракта иная ситуация, если в начале срока хранения активность вариантов с AG8 или AG9 уступала варианту со сметанной закваской, то в процессе хранения способность связывать свободные радикалы в экспериментальных вариантах нарастала и стала выше, чем в классической сметане.

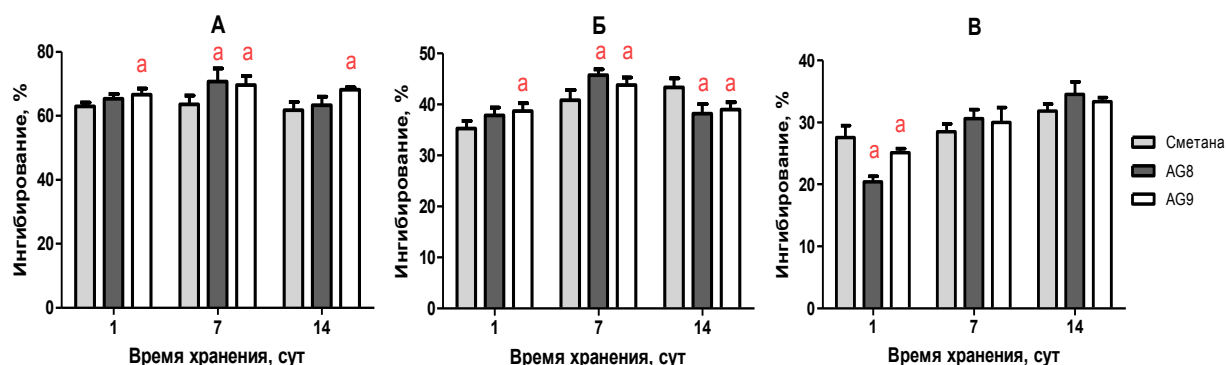


Рисунок 3. Радикал-связывающая активность разных фракций сметаны и сквашенных сливок, полученных с использованием *L.fermentum* AG8 или *L. plantarum* AG9 (А – сквашенные сливки, Б – водный экстракт В – безбелковый экстракт) (а – показывает достоверные различия на уровне 0,05 по сравнению с контролем Сметана).

Отсутствие корреляционных зависимостей между динамикой показателей восстановительной активности и РСА, возможно обусловлен разными механизмами реализации этого потенциала, восстанавливающая активность может быть обусловлена белковыми, углеводными, в том числе глюкозой, компонентами, кроме того свой вклад вносят органические кислоты. Тогда как радикал-связывающая активность обуславливается в том числе и наличием пептидных продуктов гидролиза и синтезом МКБ экзополисахаридов.

О влиянии на состояние молочного жира в сквашенных сливках судили по показателям: перекисное число, количество свободных жирных кислот, количество малонового диальдегида (рис.4). По всем трем показателям на протяжении всего срока хранения молочный

жир сквашенных сливок со штаммами *L.fermentum* AG8 или *L.plantarum* AG9 был менее окисленным.

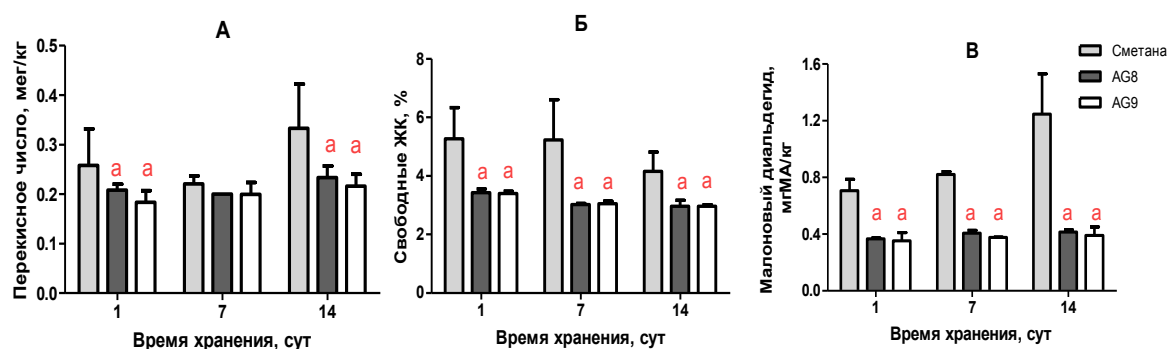


Рисунок 4. Перекисное число (А), количество свободных жирных кислот (Б), количество малонового диальдегида (В) в сквашенных сливках при использовании сметанной закваски «Лактосинтез», или штаммов *L.fermentum* AG8, *L.plantarum* AG9 (а – показывает достоверные различия на уровне 0,05 по сравнению с контролем Сметана)

Сохранности молочного жира, его устойчивость к окислительному воздействию кислорода воздуха обусловлена комплексом метаболитов, синтезируемых штаммами *L.fermentum* AG8 или *L.plantarum* AG9 в процессе сквашивания и при хранении.

Выводы

Штаммы МКБ, изученные в данном исследовании и обладающие пробиотическим потенциалом, могут быть включены в состав закваски для сметаны. Перспектива, обозначенная здесь, прежде всего, основывается на сделанных ниже выводах:

1. Выявлено формирование более высоких показателей антиоксидантной активности у сквашенных сливок при применении штаммов *L.fermentum* AG8 или *L.plantarum* AG9 (в среднем на 5-10 %), чем при применении сметанной закваски.

2. В работе получены результаты о положительном влиянии штаммов *L.fermentum* AG8 или *L.plantarum* AG9 на сохранность молочного жира при хранении, показатель МДА через 14 дней хранения в 2-3 раза меньше в экспериментальных образцах, чем в сметане.

3. Показана более низкая кислотообразующая способность штаммов *L.fermentum* AG8 или *L.plantarum* AG9 по сравнению с сметанной закваской. В отличие от сметаны, где повышение кислотности в процессе хранения было на 5-10 °Т, в образцах сквашенных сливок с *L.fermentum* AG8 или *L.plantarum* AG9 такого повышения не выявлено.

4. Дана рекомендация о целесообразности использования исследуемых штаммов в качестве со-культуры в составе классической закваски для сметаны, что будет являться последующей темой исследования.

Список источников

1. Гаврилова Н.Б. и др. Исследование иммобилизации пробиотиков как метода их защиты и доставки в желудочно-кишечный тракт человека / Н.Б. Гаврилова, Н. Л. Чернопольская, А. В. Банникова, И. А. Евдокимов, М. И. Шрамко // Техника и технология пищевых производств. 2018. Т. 48. № 2. С. 151-160.
2. Кабисов Р.Г. и др. Лактобактерии селекции Горского ГАУ в составе закваски для производства сметаны «Лакомка» из топленых сливок / Р.Г. Кабисов, Э. В. Рамонова, Э. И. Рехвиашвили, А.Г. Петрукович, А.М. Хозиев // Известия Горского государственного аграрного университета. 2020. Т. 57. № 1. С. 141-146.
3. Китаевская, С. В., Решетник О. А., Камартдинова Д. Р. Заквасочные культуры молочнокислых бактерий с повышенными антагонистическими свойствами для хлебопекарной

промышленности // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2024. Т. 13. № 4(68). С. 130-135.

4. Китаевская С. В. и др. Оценка биотехнологического потенциала новых штаммов молочнокислых бактерий с криорезистентными свойствами / С. В. Китаевская, О. А. Решетник, Д. Р. Камартдинова, А.Н. Волостнова, Н.К. Романова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2023. Т. 85. № 4(98). С. 63-69.

5. Никитина Е.В., Вафина А.И. Влияние новых штаммов молочнокислых бактерий на качество обезжиренного сквашенного молока // Вестник Технологического университета. 2017. Т. 20. № 7. С. 164-166.

6. Никифорова А.П., Хамагаева И.С. Изучение пробиотического потенциала штаммов молочнокислых бактерий *Lactilactobacillus sakei* // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2022. Т. 10. № 2. С. 15–21.

7. Юнусов Э.Ш., Пономарев В.Я., Никитина Е.В. Оценка перспективы использования незаквасочного штамма *Lactiplantibacillus plantarum* AG15 в технологиях ферментированных молочных продуктов // Индустрия питания. 2022. Т. 7. № 3. С. 5-17.

8. Chen C., Zhao S., Hao G., Yu H., Tian H., Zhao G. Role of lactic acid bacteria on the yogurt flavour: A review // International Journal of Food Properties. 2017. Vol. 20 (sup1). Pp. 316-330

9. Gavrilova E., Anisimova E., Nikitina E., Yarullina D., Bogachev M., Kayumov A., Gabdelkhadieva A., Vafina A. Newly isolated lactic acid bacteria from silage targeting biofilms of foodborne pathogens during milk fermentation // BMC Microbiology. 2019. Vol. 19. No. 1. P. 248.

10. Kim Y., Yoon S., Shin H., Jo M., Lee S., Kim S. Isolation of *Lactococcus lactis* ssp. *cremoris* LRCC5306 and optimization of diacetyl production conditions for manufacturing sour cream // Food Science of Animal Resources. 2021. Vol. 41(3). Pp. 373–385.

11. Lee H. W., Kim, I. S., Kil B. J., Seo E., Park H., Ham J.-S., Huh C. S. Investigation of flavor-forming starter *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* LDTM6802 and *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris* LDTM6803 in miniature gouda-type cheeses // Journal of Microbiology and Biotechnology. 2020. Vol. 30(9). Pp. 1404–1411.

12. Liang Z., Yi M., Sun J., Zhang T., Wen R., Li C., Reshetnik E.I., Griбанова S.L., Liu L., Zhang G. Physicochemical properties and volatile profile of mung bean flour fermented by *Lactica-seibacillus casei* and *Lactococcus lactis* // Food Science and Technology. 2022. Vol. 163. ID113565.

13. Mikshina P., Kharina M., Sungatullina A., Petrova T., Sibgatullin T., Nikitina E. Influence of flaxseed mucilage on the formation, composition, and properties of exopolysaccharides produced by different strains of lactic acid bacteria // International Journal of Biological Macromolecules. 2024. Vol. 281. ID136092.

14. Nikitina E., Petrova T., Vafina A., Yahia M.N., Ezhkova A., Kayumov A. Textural and functional properties of skimmed and whole milk fermented by novel *Lactiplantibacillus plantarum* AG10 strain isolated from silage // Fermentation. 2022. Vol. 8. No. 6. ID290.

15. Nikitina E., Petrova T., Sungatullina A., Bondar O., Kharina M., Mikshina P., Gavrilova E., Kayumov A. The profile of exopolysaccharides produced by various *Lactobacillus* species from silage during not-fat milk fermentation // Fermentation. 2023. Vol. 9. ID197.

16. Wang M.S., Fan M., Zheng A.R., Wei C.K., Liu D.H., Thaku K., Wei Z.J. Characterization of a fermented dairy, sour cream: Lipolysis and the release profile of flavor compounds // Food Chem. 2023. Vol. 423 ID136299.

References

1. Gavrilova N.B. et al. Research of probiotic immobilization as a method of their protection and delivery into the human gastrointestinal tract. N.B. Gavrilova, N. L. Chernopolskaya, A.V. Bannikova, I. A. Evdokimov, M. I. Shramko. Technique and technology of food production, 2018, vol. 48, no. 2, pp. 151-160.

2. Kabisov R.G. et al. Lactobacilli of the selection of the Gorsky State Agrarian University as part of a starter culture for the production of sour cream «Lakomka» from clotted cream. R.G. Kabisov, E. V. Ramonova, E. I. Rekhviashvili, A.G. Petrukovich, A.M. Khoziev. Proceedings of the Gorsky State Agrarian University, 2020, vol. 57, no. 1, pp. 141-146.
3. Kitaevskaya, S. V., Reshetnik O. A., Kamartdinova D. R. Starter cultures of lactic acid bacteria with increased antagonistic properties for the bakery industry. XXI century: results of the past and problems of the present plus, 2024, vol. 13, no. 4(68), pp. 130-135.
4. Kitaevskaya S. V. et al. Assessment of the biotechnological potential of new strains of lactic acid bacteria with cryoresistant properties. S. V. Kitaevskaya, O. A. Reshetnik, D. R. Kamartdinova, A.N. Volostnova, N.K. Romanova. Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies, 2023, vol. 85, no. 4(98), pp. 63-69.
5. Nikitina E.V., Vafina A.I. The effect of new strains of lactic acid bacteria on the quality of skimmed fermented milk. Bulletin of the Technological University, 2017, vol. 20, no. 7, pp. 164-166.
6. Nikiforova A.P., Khamagaeva I.S. Study of the probiotic potential of lactic acid bacteria strains *Lactilactobacillus sakei*. Bulletin of SUSU. The series «Food and bio-technologies», 2022, vol. 10, no. 2, pp. 15-21.
7. Yunusov E.Sh., Ponomarev V.Ya., Nikitina E.V. Evaluation of the prospects of using the non-starter strain *Lactiplantibacillus plantarum* AG15 in fermented dairy products technologies, 2022, vol. 7, no. 3, pp. 5-17.
8. Chen C., Zhao S., Hao G., Yu H., Tian H., Zhao G. Role of lactic acid bacteria on the yogurt flavour: A review. International Journal of Food Properties, 2017, vol. 20 (sup1), pp. 316–330
9. Gavrilova E., Anisimova E., Nikitina E., Yarullina D., Bogachev M., Kayumov A., Gabdelkhadieva A., Vafina A. Newly isolated lactic acid bacteria from silage targeting biofilms of foodborne pathogens during milk fermentation. BMC Microbiology, 2019, vol. 19, no. 1, pp. 248.
10. Kim, Y., Yoon, S., Shin, H., Jo, M., Lee, S., Kim, S. Isolation of *Lactococcus lactis* ssp. *cremoris* LRCC5306 and optimization of diacetyl production conditions for manufacturing sour cream. Food Science of Animal Resources, 2021, vol. 41, no.3, pp. 373–385.
11. Lee H. W., Kim I. S., Ki, B. J., Seo E., Park H., Ham J.-S., Huh C. S. Investigation of flavor-forming starter *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* LDTM6802 and *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris* LDTM6803 in miniature gouda-type cheeses. Journal of Microbiology and Biotechnology, 2020, vol. 30, no. 9, pp. 1404–1411.
12. Liang Z., Yi M., Sun J., Zhang T., Wen R., Li C., Reshetnik E.I., Griбанова S.L., Liu L., Zhang G. Physicochemical properties and volatile profile of mung bean flour fermented by *Lacticaeibacillus casei* and *Lactococcus lactis*. Food Science and Technology. 2022, vol. 163, ID113565.
13. Mikshina P., Kharina M., Sungatullina A., Petrova T., Sibgatullin T., Nikitina E. Influence of flaxseed mucilage on the formation, composition, and properties of exopolysaccharides produced by different strains of lactic acid bacteria. International Journal of Biological Macromolecules. 2024, vol. 281, ID136092.
14. Nikitina E., Petrova T., Vafina A., Yahia M.N., Ezhkova A., Kayumov A. Textural and Functional Properties of Skimmed and Whole Milk Fermented by Novel *Lactiplantibacillus plantarum* AG10 Strain Isolated from Silage. Fermentation, 2022, vol. 8, no. 6, ID290.
15. Nikitina E., Petrova T., Sungatullina A., Bondar O., Kharina M., Mikshina P., Gavrilova E., Kayumov A. The profile of exopolysaccharides produced by various *Lactobacillus* species from silage during not-fat milk fermentation. Fermentation, 2023, vol. 9, ID197.
16. Wang MS, Fan M, Zheng AR, Wei CK, Liu DH, Thaku K, Wei ZJ. Characterization of a fermented dairy, sour cream: Lipolysis and the release profile of flavor compounds. Food Chem, 2023, vol. 423, ID136299.

Информация об авторах

Е.В. Никитина – кандидат биологических наук, доцент кафедры технологии мясных и молочных продуктов;

Н.М. Астахов – магистрант;

Петрова Т.А. – ассистент кафедры технологии мясных и молочных продуктов.

Information about the authors

E.V. Nikitina – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Meat and Dairy Products;;

N.M. Astakhov – Student;

T.A. Petrova – Assistant of the Department of Technology of Meat and Dairy Products.

Научная статья

УДК 664.681.1

DOI 10.24888/2541-7835-2025-35-1-79-87

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА И УСТАНОВЛЕНИЕ СРОКОВ ГОДНОСТИ ПЕЧЕНЬЯ ОВСЯНОГО ДИЕТИЧЕСКОГО

Пьяникова Эльвира Анатольевна¹, Ковалева Анна Евгеньевна^{2✉},
Овчинникова Елена Валерьевна³, Неведров Андрей Алексеевич⁴

^{1,2,4}Юго-Западный государственный университет, Курская область, Курск, Россия

³Курский институт кооперации, Курская область, Курск, Россия

¹alia1969@yandex.ru

²a.e.kovaleva@yandex.ru✉

³e.ov4innikova2011@yandex.ru

⁴tt-kstu@yandex.ru

Аннотация: Овсяное печенье является традиционным печеньем и особенно пользуется спросом среди разных групп населения. Статья посвящена исследованию качества печенья овсяного диетического. С целью получения диетического продукта в разрабатываемых образцах была осуществлена полная замена пшеничной муки на овсяную, приготовленную из перемолотых овсяных хлопьев «Геркулес», овсяной муки - на овсяные хлопья «Геркулес», яиц - на яблочные выжимки, сахара - на сироп топинамбура в образце №2, на сироп топинамбура и курагу в образцах №3 и №4. Установлено, что образец №3 обладал сбалансированным составом и вкусом. Введение в рецептуру печенья овсяного диетического яблочных выжимок оказало положительное влияние на вкусовые и ароматические свойства готового изделия, придав ему аромат и вкус вводимого ингредиента. Замена пшеничной и овсяной муки на продукты из овсяных хлопьев «Геркулес» не оказали существенного влияния на показатели: «внешний вид» и «консистенция». У образца №3 был отмечен приятный привкус и аромат овсяной муки. Исследование физико-химических показателей качества (массовой доли влаги, щелочности, намокаемости) подтвердило высокое качество разработанного образца печенья овсяного диетического. Установлено изменение органолептических показателей опытных образцов при определении сроков годности, результаты которых показали, что рекомендуемым сроком годности является 7 суток при стандартных условиях хранения.

Ключевые слова: печенье овсяное диетическое, хлопья «Геркулес», яблочные выжимки, курага, оценка качества, органолептические и физико-химические показатели, сроки годности

Для цитирования: Оценка качества и установление сроков годности печенья овсяного диетического / Э.А. Пьяникова, А.Е. Ковалева, Е.В. Овчинникова, А.А. Неведров // Агропромышленные технологии Центральной России. 2025. № 1(35). С. 79-87. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2025-35-1-79-87>.

Original article

QUALITY ASSESSMENT AND EXPIRATION DATES OATMEAL DIET COOKIES

Elvira A. Pyanikova¹, Anna E. Kovaleva^{2✉}, Elena V. Ovchinnikova³, Andrey A. Nevedrov⁴

^{1,2,4}Kursk Southwestern State University, Kursk, Russia

³Kursk Institute of Cooperation, Kursk, Russia

¹alia1969@yandex.ru

²a.e.kovaleva@yandex.ru✉

³e.ov4innikova2011@yandex.ru

⁴tt-kstu@yandex.ru

Abstract. Oatmeal cookies are traditional cookies and are especially in demand among different groups of the population. The article is devoted to the study of the quality of oatmeal dietary cookies. In order to obtain a dietary product in the developed samples, a complete replacement of wheat flour with oat-

meal made from ground oat flakes «Hercules», oatmeal - with oat flakes «Hercules», eggs - with apple pomace, sugar – with jerusalem artichoke syrup in sample No. 2, with jerusalem artichoke syrup and dried apricots in samples No. 3 and No. 4. It was found that sample No. 3 had a balanced composition and taste. The introduction of apple pomace into the recipe of oatmeal cookies had a positive effect on the taste and aromatic properties of the finished product, giving it the aroma and taste of the introduced ingredient. The replacement of wheat and oatmeal flour with products from oatmeal "Hercules" did not significantly affect the indicators of «appearance» and «consistency». Sample No. 3 had a pleasant aftertaste and aroma of oatmeal. The study of physico-chemical quality indicators (mass fraction of moisture, alkalinity, wetness) confirmed the high quality of the developed sample of oatmeal dietary biscuits. A change in the organoleptic characteristics of the prototypes was found when determining the shelf life, the results of which showed that the recommended shelf life is 7 days under standard storage conditions.

Keywords: dietary oatmeal cookies, Hercules flakes, apple pomace, dried apricots, quality assessment, organoleptic and physico-chemical parameters, shelf life

For citation: Quality assessment and expiration dates oatmeal diet cookies. E.A. Pyanikova, A.E. Kovaleva, E.V. Ovchinnikova, A.A. Nevedrov. Agro-industrial technologies of Central Russia, 2025, no. 1(35), pp. 79-87. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2025-35-1-79-87>.

Введение

С развитием концепции здорового питания в последнее время повышенное внимание вызывают продукты питания, приготовленные из грубых злаков, например, таких как овес. Зерно овса на международном уровне благодаря своим многочисленным питательным компонентам и функциональным свойствам укрепляет здоровье желудочно-кишечного тракта и регулировать уровень глюкозы в крови, признано сырьем для здорового питания [9, 10].

Овсяное печенье, в рецептуру которого входит овсяная мука – продукт, который пользуется популярностью у населения и с удовольствием покупается потребителями. Овсяное печенье характеризуется высокими вкусовыми характеристиками и высокой калорийностью (от 400 до 480 ккал в зависимости от входящих в состав печенья компонентов) [4]. Наличие в традиционной рецептуре пшеничной муки высшего сорта снижает его питательную ценность при высоких органолептических показателях. Пшеничная мука высшего сорта за счет тщательной очистки содержит в своем составе меньшее количество витаминов, минеральных веществ и пищевых волокон [11], чем в овсяной муке. Пищевые волокна из овса состоят из β -глюкана, содержащего не менее 40 % водонерастворимых пищевых волокон и остальное количество – водорастворимые пищевые волокна. β -глюкан из овса обладает способностью образовывать высоковязкие гели, что влияет на использование его в пищевой промышленности [7, 8]. Данная способность пищевых волокон овсяной крупы благоприятно сказывается на свойствах теста и показателях качества изделий, приготовленных из него.

Содержание сухих веществ в топинамбуре колеблется: в наземной массе – 22-32 %, в клубнях – 19–30 %. Топинамбур содержит уникальный углеводный комплекс на основе фруктозы и ее полимеров. Наиболее ценный и количественно преобладающий углеводный компонент – инулин. Он содержится преимущественно в клубнях топинамбура совместно с сахарами (от 13 до 20 % на сырую массу). Короткоцепочечные молекулы инулина обладают функциональными свойствами, сходными с сахаром или глюкозными сиропами. Как следствие, они улучшают вкус и повышают сладость [5]. Между тем длинноцепочечный инулин обычно используется в качестве заменителя жира, который значительно улучшает кремообразность, вкус во рту и гладкость, а также используется в качестве желирующего агента, модификатора вязкости и текстуры различных продуктов [6].

При переработке клубней топинамбура получают пищевой пектин, фруктово-глюкозный сироп, кристаллическую фруктозу и диетические пищевые волокна [3].

Сироп топинамбура – это 100% натуральный продукт растительного происхождения, в состав которого входит топинамбур и вода. Сироп топинамбура имеет самый низкий гликемический индекс (GI 13-15) среди подсластителей. Благодаря этому его можно включать в питание людей, больных сахарным диабетом [2]. Продукт отличается высоким содержанием незаменимых аминокислот и клетчатки, витаминов и минералов, богат пектином, кароти-

ноидами и органическими кислотами, содержит около 40% растительного волокна, способствующего быстрому насыщению.

Яблочные выжимки являются источником легкоусвояемой клетчатки, пектина и фенольных соединений (гидроксикоричных кислот, антоцианов, флавонолов и дигидрохальконов) [1, 12]. Введение в состав печенья яблочных выжимок свежемороженых также будет оказывать влияние на вкусовые качества, придавая готовому изделию приятный фруктовый привкус.

Цель исследования – оценка качества разработанных образцов печенья овсяного диетического и установление его сроков годности.

Материалы и методы исследований

Разработка рецептуры нового вида печенья овсяного диетического проводилась в 2024 г. на базе кафедры товароведения, технологии и экспертизы товаров ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет». За основу была взята рецептура овсяного печенья диетического (образец №1) из сборника рецептов (Сборник унифицированных рецептов на печенье, 1989, рецептура №198). С целью разработки печенья овсяного диетического было произведено ряд замен: мука пшеничная полностью заменена на овсяную, приготовленную из перемолотых овсяных хлопьев «Геркулес», овсяная мука – на овсяные хлопья «Геркулес», яйца – на яблочные выжимки, сахар – на сироп топинамбура. В ходе многократных лабораторных выпечек с учетом внесенных корректировок по рецептурным ингредиентам и их количественному соотношению были разработаны рецептуры, представленные в табл. 1.

Таблица 1. Рецептуры разработанных образцов печенья овсяного диетического

Наименование ингредиента	Количество, кг			
	Контрольный образец	Образец №2	Образец №3	Образец №4
Мука пшеничная в.с.	130	-	-	-
Мука овсяная	40	-	-	-
Мука овсяная из перемолотых овсяных хлопьев	-	130	130	130
Овсяные хлопья «Геркулес»	-	40	40	40
Сахар	148	-	-	-
Яблочные выжимки	-	80	60	60
Масло сливочное	90	90	90	-
Корица	0,3	-	-	-
Яйца	60	-	-	-
Курага	-	-	60	60
Сироп топинамбура	-	110	110	110
Разрыхлитель	2	2	2	2
Растительное масло	-	-	-	90
Соль	1,6	-	-	-

В соответствии с требованиями ГОСТ 24901-2014 «Печенье. Общие технические условия» была разработана шкала органолептической оценки показателей качества для овсяного печенья.

При оценивании внешнего вида печенья овсяного диетического путем осмотра определяют правильность формы, наличие деформированных изделий, надломов, надрывов, пузырей, трещин, раковин, подгорелых изделий. Цвет печенья должен быть равномерным, свойственным наименованию, без подгорелости. Допускается более темная окраска краев и нижней стороны печенья.

При оценивании вида в изломе обращают внимание на пропеченность изделий, равномерность пор, наличие пустот, непромеса, закала.

Вкус и запах, а также наличие несвойственных запахов и привкусов определяют при температуре 18-22 °С. Устанавливают наличие неприятных или несвойственных запахов и привкусов, хруста на зубах из-за присутствия минеральных примесей. Размер печенья устанавливают с помощью штангенциркуля у 5 штук изделий. Среднюю длину, ширину и толщину сравнивают с требованиями стандарта.

Исследования органолептических и физико-химических показателей выполнены на базе научно-образовательного центра «Ресурсосберегающие производства продуктов питания при переработке сельскохозяйственного сырья» и кафедры товароведения, технологии и экспертизы товаров ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет» по показателям: внешний вид, консистенция, вкус, цвет запах (по ГОСТ 24901-2014); влажность – по ГОСТ 5900-2014, щелочность – по ГОСТ 5898-2022, намокаемость – по ГОСТ 10114-80.

Для установления сроков годности выпеченные образцы овсяного печенья диетического № 3 после охлаждения подвергались вылеживанию в стандартных условиях (нормальные испытания) в соответствии с методикой, представленной в ГОСТ Р 70412-2022 «Изделия кондитерские. Руководящие указания по установлению и подтверждению сроков годности».

Результаты исследований и их обсуждение

Для проведения органолептической оценки были взяты разработанные образцы печенья овсяного диетического. По органолептическим показателям печенье должно соответствовать требованиям, указанным в ГОСТ 24901-2014 «Печенье. Общие технические условия». Разработанные образцы печенья овсяного диетического были представлены на дегустацию комиссии в составе 5 человек, по итогам которой были рассчитаны средние баллы. Полученные результаты представлены в таб. 2. Образцы печенья представлены на рис. 1.

Таблица 2. Результаты исследования органолептических показателей качества образцов печенья овсяного диетического

Наименование показателя	Образцы / баллы			
	№1 (контрольный)	№ 2	№ 3	№ 4
Вкус	5,0	4,0	5,0	5,0
Запах	5,0	5,0	5,0	5,0
Форма	5,0	4,0	5,0	4,2
Поверхность	5,0	4,4	4,8	4,6
Вид в изломе	5,0	4,0	5,0	5,0
Итого	25,0	21,4	24,8	23,8

Как показали результаты проведенной дегустационной оценки с использованием 5-балльной шкалы, лучшим из разработанных образцов печенья овсяного диетического оказался образец №3. Он уступил контрольному образцу 0,2 балла, набрав 24,8 балла из 25 возможных. Все дегустаторы отметили его приятные вкус и аромат с привкусом и ароматом овсяной муки. Он имел округлую форму, слегка расплывчатую, что допускается требованиями ГОСТ на овсяное печенье.

Поверхность у печенья шероховатая, что также допускается требованиями действующей нормативной документации. Цвет равномерный, светло-соломенный. В изломе образец №3 пропеченный с равномерной пористой структурой, без пустот и следов непромеса. Печенье легко разламывалось и при разламывании не крошилось.

Образец №2, отличающийся от образца №3 большим содержанием в рецептуре яблочных выжимок и отсутствием кураги, набрал 21,4 балла. По показателю «вкус» все дегустаторы поставили ему 4,0 балла. При этом они отметили, что образец недостаточно сладкий, и влажный, что снижает его вкусовые свойства. Это может быть связано с избыточным количеством яблочных выжимок в рецептуре печенья, т.к. они обладают высокой влагоудерживающей способностью. По этой причине в дальнейшем в рецептуре печенья (образцы №3 и №4) было снижено количество яблочных выжимок и введена курага. Запах у образца печенья №2 был приятный, с привкусом овсяной муки. Поверхность изделия была очень неровная, за что были снижены оценки, и средний балл составил 4,4. На изломе у печенья были видны следы непропеченности, за что также дегустаторы снизили баллы. Печенье легко разламывалось и при разламывании не крошилось.



Рисунок 1. Образцы печенья

Чтобы исключить из рецептуры печенья полностью сырье животного происхождения, в рецептуру № 3 была введена корректировка и произведена замена сливочного масла на растительное в соотношении 1:1. По результатам дегустационной оценки данный образец набрал 23,8 балла по пяти показателям. Средний балл составил 4,76 балла. Что говорит о высоком качестве изделия. По показателям «вкус» и «запах» образец № 4 набрал по пять баллов. Все дегустаторы отметили его приятные вкусоароматические свойства, с легким ароматом овсяной муки. По показателю «форма» четыре дегустатора из пяти поставили оценку «хорошо», обосновав это тем, что изделие имеет сильно расплывчатую форму и практически плоское. Но на вкусовые качества готового изделия это никак не повлияло. Поверхность у печенья, в сравнении с образцами № 1, № 2 и № 3, была более гладкая, что ГОСТом допускается. Но, тем не менее, два дегустатора поставили оценку «хорошо». В изломе образец № 4 пропеченный с равномерной пористой структурой, без пустот и следов непромеса. Печенье легко разламывалось и при разламывании не крошилось.

В целом по результатам органолептической оценки все разработанные образцы овсяного печенья диетического набрали достаточно высокие баллы, но лучшим и рекомендуемым к внедрению являлся образец № 3.

Ввиду корректировки рецептуры в ходе многократных выпечек и получении в результате этого оптимальной рецептуры, исследования физико-химических показателей качества проводились с образцами № 3 и № 4 в сравнении с контрольным. Полученные в ходе исследования результаты сведены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты исследования физико-химических показателей качества образцов печенья овсяного диетического

Наименование показателя	Норма по ГОСТ 24901-2014	Образцы			
		№ 1 (контрольный)	№ 2	№ 3	№ 4
Массовая доля влаги, %, не более	10,5	8,5	9,8	8,8	9,2
Щелочность, град., не более	2,0	1,2	1,2	1,0	1,2
Намокаемость, %, не менее	150	160	168	165	167

Для контрольного образца печенья овсяного массовая доля влаги составила 8,5%, для образца печенья овсяного диетического № 2 этот показатель составил 9,8 %, для образца № 3 – 8,8%, для образца № 4 – 9,2%. Все полученные значения находятся в пределах, допустимых действующей нормативной документации.

Показатель щелочности для контрольного образца составил 1,2 град., для образца печенья овсяного диетического № 2 – 1,2 град., № 3 – 1,0 град., для образца № 4 – 1,2 град. Все полученные значения находятся в пределах, допустимых действующей нормативной документации.

При определении намокаемости печенья проводили по три параллельных исследования с целью получения более достоверного результата и за конечный результат принимали среднее арифметическое. Среднее значение намокаемости для контрольного образца, которое и было принято за результат исследования, составило 160 %, для образца № 2 – 168 %, для образца № 3 – 165 %, для образца № 4 – 167%.

Как видно из полученных в ходе лабораторных исследований физико-химических показателей качества образцов печенья (контрольного и образцов № 2, № 3 и № 4), все образцы отвечают требованиям действующей нормативной документации. Ввиду того, что лучшим по органолептическим показателям оказался образец № 3, то его можно рекомендовать для внедрения в производство.

Исследования на установление сроков годности рекомендуемого к внедрению в производства печенья овсяного диетического (образец № 3) проводились по органолептическим показателям (внешний вид, вкус и запах, консистенция) и массовой доле влаги. Полученные результаты представлены в табл. 4.

Проведение исследований по установлению сроков годности проводилось в течение 8 дней, что связано с тем, что изначально при разработке рецептуры закладывался срок годности не менее 7 дней.

Таблица 4. Данные по установлению сроков годности печенья овсяного диетического

Наименование характеристик объекта испытаний	Дата начала испытаний (13.03.24)	2 день	3 день	4 день	5 день	6 день	7 день	8 день	Нормативный документ
Вкус	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	4,8	4,8	4,4	ГОСТ 24901-2014
Запах	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	ГОСТ 24901-2014
Поверхность	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	4,8	ГОСТ 24901-2014
Вид в изломе	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	ГОСТ 24901-2014
Массовая доля влаги, %	8,8	8,8	8,8	8,2	7,5	6,7	6,0	5,4	ГОСТ 5900-2014

В рецептурах не использовались какие-либо консерванты, способствующие увеличению сроков годности. При проведенных исследованиях было выявлено, что у разработанных образцов на протяжении трех дней отклонений от первоначального значения не было выявлено по показателям: вкус, запах, поверхность, вид в изломе. На четвертый день исследования незначительно снизилась массовая доля влаги – на 0,6 % в сравнении с исходными данными. На органолептические показатели качества хранения никак не сказалось. На пятый день исследования массовая доля влаги снизилась на 1,3 % в сравнении с исходными данными. Органолептические показатели качества при этом не изменялись.

На шестой день хранения ухудшился вкус: изделие стало более сухим, по остальным органолептическим показателям качества изменений не выявлено. Массовая доля влаги снизилась и составила 6, 7%. На седьмой день хранения произошло снижение массовой доли влаги на 2,8 % по сравнению с исходными данными. Органолептические показатели качества остались на том же уровне, что и в шестой день исследования.

На восьмой день исследования еще более снизились качество вкуса и массовая доля влаги. Изделие стало суховатым, но несмотря на специфические свойства продуктов переработки овса, привкуса горечи у печенья не возникло. При этом никаких явных признаков порчи (плесень) не выявлено. Проведенные исследования по определению сроков годности позволили установить, что срок годности печенья овсяного диетического (образец № 3) составляет 7 суток.

Выводы

1. Исследования показали, что по результатам органолептической оценки качества печенья овсяного диетического оптимальным был признан образец № 3 с уменьшенным на 25 % по отношению к образцу № 2 количеством яблочных выжимок и добавлением кураги.

2. Присутствие яблочных выжимок в рецептурах печенья овсяного диетического оказало влияние на вкусовые и ароматические свойства готового изделия, придав ему приятные фруктовые вкусы и аромат.

3. Замена сахара на сахаросодержащие компоненты (сироп топинамбура, яблочные выжимки и курагу) обеспечило получение готового печенья овсяного диетического, сбалансированного по сладости.

4. Исследование физико-химических показателей разработанного образца печенья овсяного диетического (образец № 3) показало, что массовая доля влаги составила 8,8 %, щелочность – 1 град. и намокаемость – 165 %. Полученные данные находятся в пределах, допустимых действующим стандартом.

5. Для снижения влажности готового изделия содержание яблочных выжимок свежемороженого было уменьшено на 25 % по отношению к образцу № 2.

6. Использование овсяной муки, полученной путем размола хлопьев «Геркулес», и масла сливочного обеспечило необходимые внешний вид и консистенцию теста. При выпекании печенье не расплывалось, готовое изделие не крошилось.

7. В связи с ухудшением органолептических показателей качества на 8 день хранения, рекомендуемым сроком годности является 7 суток при соблюдении условий хранения (температура не выше 22 °С и относительная влажность воздуха не менее 75 %, хранение в упакованном виде).

Список источников

1. Пьяникова Э.А., Ковалева А.Е., Пыхтин А.И. Разработка шкалы интенсивности дескрипторов для органолептической оценки «Брауни» // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 8. С. 92-96.

2. Рустимова А. Ж., Байысбаева М. П. Использование нетрадиционного сырья в производстве заварных пряников // Наука, новые технологии и инновации Кыргызстана. 2018. № 7. С. 9-13.

3. Титок В., Веевник А., Ярошевич М. Топинамбур – культура многофункционального назначения // Наука и инновации. 2014. №135.

4. Шанина Е.В. Перспективы применения вторичного сырьевого ресурса (жмыха льна) в производстве овсяного печенья // Вестник КрасГАУ. 2023. № 5(194). С. 202-209.
5. Ahmed W., Rashid S. Functional and therapeutic potential of inulin: A comprehensive review // Critical Reviews In Food Science And Nutrition. 2019. Vol. 59. Pp. 1-13.
6. Illipangama A.U., Jayasena D.D., Jo C., Mudannayake D.C. Inulin as a functional ingredient and their applications in meat products // Carbohydrate Polymers. 2022. Vol. 275. ID118706.
7. Jokinen I., Silventoinen-Veijalainen P., Lille M., Nordlund E., Holopainen-Mantila U. Variability of carbohydrate composition and pasting properties of oat flakes and oat flours produced by industrial oat milling process – Comparison to non-heat-treated oat flours // Food Chemistry. 2023. Vol. 405. Part A. ID134902.
8. Mäkelä N., Maina N.H., Vikgren P., Sontag-Strohm T. Gelation of cereal β -glucan at low concentrations // Food Hydrocolloids. 2017. Vol. 73. Pp. 60-66.
9. Martínez M.M., Oliete B., Román L., Gómez M. Influence of the addition of extruded flours on rice bread quality // J. Food Qual. 2014. Vol. 37 (2). Pp. 83-94.
10. Raguindin P.F., Itodo O. Adam, Stoyanov J., Dejanovic G.M., Gamba M., Asllanaj E., Minder B., Bussler W., Metzger B., Muka T., Glisic M., Kern H. A systematic review of phytochemicals in oat and buckwheat // Food Chem. 2021. Vol. 338. ID127982.
11. Rainakari A.I., Rita H., Putkonen T., Pastell H. New dietary fibre content results for cereals in the Nordic countries using AOAC 2011.25 method // Journal of Food Composition and Analysis. 2016. Vol. 51. Pp. 1-8.
12. Pyanikova E.A., Kovaleva A.E., Ovchinnikova E.V., Afanasieva L.A. Researching the possibility of using recycled apple raw materials to create functional food products. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall, 2021. Vol. 677 (3). ID32030.

References

1. Pyanikova E.A., Kovaleva A.E., Pykhtin A.I. Development of a scale of intensity of descriptors for the organoleptic assessment of Brownies. Achievements of science and technology of the agroindustrial complex, 2022, vol. 36, no. 8, pp. 92-96.
2. Rustamova A. Zh., Bayysbaeva M. P. The use of non-traditional raw materials in the production of gingerbread. Science, new technologies and innovations of Kyrgyzstan, 2018, no. 7, pp. 9-13.
3. Titok V., Veevnik A., Yaroshevich M. Jerusalem Artichoke – a culture of multifunctional use. Science and Innovation, 2014, no. 135.
4. Shanina E.V. Prospects of using a secondary raw material resource (flax cake) in the production of oatmeal biscuits. Bulletin of KrasSAU, 2023, no. 5(194), pp. 202-209.
5. Ahmed W., Rashid S. Functional and therapeutic potential of inulin: A comprehensive review. Critical Reviews In Food Science And Nutrition, 2019, vol. 59, pp. 1-13.
6. Illipangama A.U., Jayasena D.D., Jo C., Mudannayake D.C. Inulin as a functional ingredient and their applications in meat products. Carbohydrate Polymers, 2022, vol. 275, ID118706.
7. Jokinen I., Silventoinen-Veijalainen P., Lille M., Nordlund E., Holopainen-Mantila U. Variability of carbohydrate composition and pasting properties of oat flakes and oat flours produced by industrial oat milling process – Comparison to non-heat-treated oat flours. Food Chemistry, 2023, vol. 405, part a, ID134902.
8. Mäkelä N., Maina N.H., Vikgren P., Sontag-Strohm T. Gelation of cereal β -glucan at low concentrations. Food Hydrocolloids, 2017, vol. 73, pp. 60-66.
9. Martínez M.M., Oliete B., Román L., Gómez M. Influence of the addition of extruded flours on rice bread quality. J. Food Qual, 2014, vol. 37 (2), pp. 83-94.
10. Raguindin P.F., Itodo O. Adam, Stoyanov J., Dejanovic G.M., Gamba M., Asllanaj E., Minder B., Bussler W., Metzger B., Muka T., Glisic M., Kern H. A systematic review of phytochemicals in oat and buckwheat. Food Chem., 2021, vol. 338, ID127982.

11. Rainakari A.I., Rita H., Putkonen T., Pastell H. New dietary fibre content results for cereals in the Nordic countries using AOAC 2011.25 method. Journal of Food Composition and Analysis, 2016, vol. 51, pp. 1-8.

12. Pyanikova E.A., Kovaleva A.E., Ovchinnikova E.V., Afanasieva L.A. Researching the possibility of using recycled apple raw materials to create functional food products. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall, 2021, vol. 677 (3), ID32030.

Информация об авторах

Э.А. Пьяникова – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой товароведения, технологии и экспертизы товаров;

А.Е. Ковалева – кандидат химических наук, доцент кафедры товароведения, технологии и экспертизы товаров;

Е.В. Овчинникова – кандидат экономических наук, доцент кафедры товароведно-технологических дисциплин, заместитель директора по научной работе;

А.А. Неведров – обучающийся.

Information about the authors

E.A. Pyanikova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Commodity Science, Technology and Expertise of Goods;

A.E. Kovaleva – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Commodity Science, Technology and Expertise of Goods;

E.V. Ovchinnikova – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Commodity Science and Technology Disciplines, Deputy Director for Scientific Work;

A.A. Nevedrov – Student.

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО

GENERAL AGRICULTURE AND CROP PRODUCTION

Научная статья

УДК 577.16

DOI 10.24888/2541-7835-2025-35-1-88-97

СОДЕРЖАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ В РАСПРОСТРАНЁННЫХ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЯХ ЦЧР

Барышникова Анастасия Владимировна^{1✉}, Вохмина Ульяна Андреевна²

^{1,2}Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, Елец, Россия

¹nastya181997@icloud.com✉

²Ulvohmina@yandex.ru

Аннотация. Цель исследований – выяснить какие редкие и лекарственные растения Липецкой области возможно самостоятельно культивировать и определить содержание основных биологически активных веществ в сухом сырье основных распространенных лекарственных растений. Рассмотрено содержание некоторых биологически активных веществ в наиболее распространённых лекарственных растениях центральной России. Объектами исследований являлись лекарственные растения. Надземная масса отбиралась во время цветения в течение лета, корни отбиралось в октябре. Все анализы проводились в воздушно-сухом сырье с влажностью 7 % от массы сухой навески в 2018-2024 гг. на базе научно-исследовательской агрохимической лаборатории Елецкого государственного университета им. И.А. Бунина. Из травянистого сырья наибольшим количеством аскорбиновой кислоты отличалась трава репейника обыкновенного, антоцианов – душицы обыкновенной, флавонолов – котовника венгерского, катехинов – девясила шершавого, каротиноидов, β -каротина и танина – черноголовки обыкновенной, дубильных и красящих веществ – мать-и-мачехи обыкновенной и мяты полевой, органических кислот – кипрея узколистного. Из изученных 18 видов растений с наибольшим количеством каротиноидов в корнях оказался манник большой, β -каротина, Р-активных флавонолов, катехинов, дубильных и красящих веществ - корни лопуха паутинистого, аскорбиновой кислоты - одуванчик лекарственный и клевер красный, антоцианов - подорожник большой, сухих веществ - крапива жгучая, органических кислот - клевер красный, танина - щавель конский, суммы пектиновых веществ - бодяк обыкновенный.

Ключевые слова: лекарственные растения, биологически активные вещества, надземная часть и корни растений

Для цитирования: Барышникова А.В., Вохмина У.А. Содержание биологически активных веществ в распространённых лекарственных растениях ЦЧР и возможность их выращивания в культуре // Агропромышленные технологии Центральной России. 2025. № 1 (35). С. 88-97. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2025-35-1-88-97>.

Original article

THE CONTENT OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES IN COMMON MEDICINAL PLANTS OF THE CENTRAL BLACK SOIL REGION

Anastasiya V. Baryshnikova^{1✉}, Ul'yana A. Vohmina²

^{1,2}Bunin Yelets State University, Lipetsk region, Yelets, Russia

¹nastya181997@icloud.com

²Ulvohmina@yandex.ru

Abstract. The purpose of the research is to find out which rare and medicinal plants of the Lipetsk region can be independently cultivated and to determine the content of the main biologically active substances

in the dry raw materials of the main common medicinal plants. The objects of research were medicinal plants. The aboveground mass was sampled during flowering during the summer, and the roots were sampled in October. All analyses were carried out in air-dry raw materials with a humidity of 7% by weight of the dry sample in 2018-2024 on the basis of the scientific research agrochemical laboratory of Bunin Yelets State University. The content of some biologically active substances in the most common medicinal plants of central Russia is considered. Of the herbaceous raw materials, the grass of the common turnip was distinguished by the largest amount of ascorbic acid, anthocyanins – oregano, flavonols – Hungarian cottonwood, catechins – rough elecampane, carotenoids, β -carotene and tannin – common blackhead, tannins and coloring substances – common mother and stepmother and field mint, organic acids – narrow-leaved cypress. Of the studied 18 plant species with the largest amount of carotenoids in the roots, there was a large mannikin, β -carotene, P-active flavonols, catechins, tannins and coloring substances – burdock roots, ascorbic acid – dandelion officinalis and red clover, anthocyanins – plantain large, dry matter – stinging nettle, organic acids – red clover, tannin – horse sorrel, amounts of pectin substances – sonchus arvensis.

Keywords: medicinal plants, biologically active substances, aboveground part and plant roots

For citation: Baryshnikova A.V., Vohmina U.A. The content of biologically active substances in common medicinal plants of the central black soil region // Agro-industrial technologies of Central Russia, 2025, no. 1(35), pp. 88-97. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2025-35-1-88-97>.

Введение

Липецкая область является промышленно развитым регионом. Следовательно, идет значительное загрязнение окружающей среды, которое угрожает растительным организмам. Поэтому изучение исчезающих видов, а также рекомендации по их сохранению в данном регионе могут быть примером по сохранению видов в экологически схожих регионах. Причины, обуславливающие исчезновение и сокращение видового разнообразия растений, носят общий характер: разрушение среды обитания, фрагментация и преобразование естественных ландшафтов, загрязнение воздушной и водной сред [17, 19, 20]. Угрозу представляют добыча известняка, травяные пожары, зарастание выходов известняка высокотравьем и древесно-кустарниковой растительностью [18]. При нарушении естественных местообитаний редких видов растений, в Липецкой области появляются виды, вытесняющие редкие: *Heracleum sosnowskyi*, *Bidens frondosa*, *Echinocystis lobata*, *Impatiens parviflora*, *Lepidium densiflorum*, *Epilobium adenocaulon*, *Impatiens glandulifera*, *Oenothera biennis*, *Conyza canadensis*, *Aster salignus*, *Arrhenatherum elatius*, *Juncus tenuis*, *Phalacrologium annuum*, *Parthenocissus inserta*. Поэтому для Липецкой области разрабатываются критерии, позволяющие оценивать степень инвазионности видов.

Медицинская ботаника стремительно развивается. В настоящий момент изучено более 6500 видов сосудистых растений, в результате чего выявлено более 1500 наименований биологически активных веществ растительного происхождения. Уделено большое внимание содержанию кумаринов, флавоноидов, антрахинонов, кардиостероидов, буфадиенолидов, фенолкислот, эфирных масел, азуленов, полиинов, сесквитерпеновых лактонов, тритерпеновых сапонинов, экдистероидов и иридоидов. В литературе описано использование в пищу 223 дикорастущих видов растений для условий Чувашии, однако корни многих из них требуют длительной влаготепловой обработки для инактивации ядовитых веществ. Разработана агротехника выращивания на приусадебном участке для 60 видов лекарственных растений. Однако лишь в естественной среде обитания в растениях содержится наибольшее количество биологически активных веществ.

Изучение дикорастущих растений не только на полях, но и на рудеральных местообитаниях агроэкосистем хозяйств уже проводилось в Ленинградской области и Краснодарском крае [10], начаты в Липецкой области [11]. В Тамбовской области велась работа по изучению травянистого растительного сырья для фиточаев. Установлено содержание аскорбиновой кислоты, каротиноидов и Р-активных веществ в сухих листьях земляники, малины, мяты [4], кипрея узколистного и чабреца [5]. В условиях Владикавказа велась работа по использованию корня лопуха в хлебопечении [15], а также водного экстракта шалфея мутноватого, лаванды длиннолистной, мяты полевой, душицы обыкновенной, гвоздики песчаной и иссопа в сыроварении [3]. В МГУПП (Москва) получен опыт введения измельченных корней цикория

в рецептуру пудинга [9]. В Амурской области муку из семян винограда добавляли в творожную массу в качестве источника теобромона, дубильных веществ, органических кислот, углеводов, белка и липидов [14]. В Омской области в рецептуру хлеба на стадии дрожжевого теста вводили сушёные плоды дикорастущей клюквы, боярышника и травы мяты. В листьях кипрея узколистного, прошедших суточную ферментацию сохраняется больше органических кислот и Р-активных флавонолов, а после 2-суточной – аскорбиновой кислоты, антоцианов, катехинов, каротина, дубильных и красящих веществ [6]. Из изученных 18 видов дикорастущих растений центральной полосы России растением с наибольшим количеством каротиноидов в корнях оказался манник большой, β -каротина, Р-активных флавонолов, катехинов, дубильных и красящих веществ - корни лопуха паутинистого, аскорбиновой кислоты - одуванчик лекарственный и клевер красный, антоцианов - подорожник большой, сухих веществ - крапива жгучая, органических кислот - клевер красный, танина - щавель конский, суммы пектиновых веществ - бодяк обыкновенный [8].

В высушенном виде наиболее богата аскорбиновой кислотой трава репешка обыкновенного, антоцианами – душицы обыкновенной, флавонолами – котовника венгерского, катехинами – девясила шершавого, β -каротином – цветки Melissa лекарственной, дубильными и красящими веществами – трава мяты полевой, танином – душицы обыкновенной, органическими кислотами – кипрея узколистного, каротиноидами – листья шалфея лугового [7].

Сведения по применению растений в сферах АПК разрозненны и не систематизированы.

Из описанных 679 видов дикорастущих сосудистых растений в средней полосе Европейской части России (Тверская, Ярославская, Ивановская, Нижегородская, Рязанская, Владимирская, Московская, Калужская, Смоленская, Брянская, Орловская, Тульская, Воронежская, Белгородская, Курская и Липецкая области) лишь 40 признаны ядовитыми. В одном из самых полных справочников лекарственных растений приводятся данные по биохимическому составу более 1000 видов растений, из которых лишь 132 вида имеют съедобные корни, свободные от ядовитых веществ и поэтому не требуют длительной предварительной обработки. Из этого списка растений мы изучили корни 18 видов, относящихся к разным ботаническим семействам и отобранных из разных по увлажнению местообитаний: сухих лугов, пойменных участков, берегов водоёмов. В своих исследованиях мы сделали уклон на витамины и другие биологически активные вещества (БАВ), играющие важную роль в питании человека.

Цель исследований – выяснить какие редкие и лекарственные растения Липецкой области возможно самостоятельно культивировать и определить содержание основных биологически активных веществ в сухом сырье основных распространенных лекарственных растений.

Материалы и методы исследований

Объектами исследований являлись лекарственные растения. Надземная масса отбиралась во время цветения в течение лета, корни отбиралось в октябре. Все анализы проводились в воздушно-сухом сырье с влажностью 7 % от массы сухой навески в 2018-2024 гг. на базе научно-исследовательской агрохимической лаборатории Елецкого государственного университета им. И.А. Бунина. Общую кислотность определяли титриметрическим методом (ГОСТ Р 51434-99), фотометрическим методом определялось: содержание каротина (ГОСТ 8756.22-80), сумма каротиноидов [16], содержание антоцианов [13], флавонолов и катехинов [2], йодометрическим методом - содержание аскорбиновой кислоты [12], титриметрическим методом - сумма красящих и дубильных веществ (ГОСТ 24027.2-80) и содержание танина (ГОСТ 19885-74), кальций-пектатным методом – содержание пектиновых веществ [1], арбитражным методом - содержание сухих веществ (ГОСТ 29031-91).

Результаты исследований и их обсуждение

В результате исследований установлено, что из травянистого сырья лидером по содержанию аскорбиновой кислоты является репешок обыкновенный, а минимальное количество

– в траве кипрея узколистного. Также мы привели для сравнения сухие плоды шиповника, где содержание этого витамина в 2 раза больше, чем в репешке. Максимальное содержание синих красящих веществ из группы витамина Р – антоцианов отмечено в траве душицы обыкновенной, а минимальное – в цветках липы сердцевидной. Содержание жёлтых красящих веществ из группы витамина Р колебалось от минимального в кипрее до максимального – в котовнике венгерском (1 %). Содержание вяжущих веществ из группы витамина Р – катехинов колебалось от минимального в цветках липы до максимального в траве девясила шершавого. Содержание β-каротина в траве растений было минимальным у тимьяна ползучего, а максимальным – у черноголовки обыкновенной (всего в 2 раза меньше, чем в плодах шиповника). Уровень дубильных и красящих веществ колебался от малого в траве черноголовки обыкновенной до большого в траве мяты полевой и мать-и-мачехи обыкновенной. Содержание главного дубильного вещества – танина колебалось от 1,2 % (в траве котовника кошачьего) до 12,0 % (в траве черноголовки обыкновенной) (табл. 1).

Таблица 1. Содержание биологически активных веществ в сухом растительном лекарственном сырье

Лекарственное растение	Аскорбиновая кислота, мг%	Антоцианы, мг%	Флавонолы, мг%	Катехины, мг%	Каротин, мг%	Сумма дубильных и красящих веществ, %	Танин, %	Сумма органических кислот, %	Сумма каротиноидов, мг%
Кипрей узколистный (<i>Chamaenerion angustifolium</i> L.)	1,6	21,3	22,8	3,2	0,3	25,44	10,0	3,0	2,2
Шиповник собачий (<i>Rosa canina</i> L.)	383,0	30,5	56,3	3,2	16,7	19,7	9,1	3,2	20,0
Мята полевая (<i>Mentha arvensis</i> L.)	41,1	10,5	291,7	0,8	0,3	64,1	9,8	1,7	7,6
Мята длиннолистная (<i>Mentha longifolia</i> (L.) Huds	35,2	5,2	207,4	0,7	1,7	27,4	5,0	1,1	3,6
Тимьян ползучий (<i>Thymus serpyllum</i> L.)	6,2	2,9	930,2	5,5	следы	41,6	7,9	0,5	1,3
Мелисса лекарственная (<i>Melissa officinalis</i> L.)	3,2	15,4	881,0	4,7	0,1	37,8	3,3	1,3	1,6
Девясил шершавый (<i>Inula hirta</i> L.)	4,1	2,4	623,3	21,4	0,3	47,9	3,3	1,5	8,4
Репешок обыкновенный (<i>Agrimonia eupatoria</i> L.)	189,2	6,9	725,2	0,4	0,8	24,9	7,5	1,8	9,0
Душица обыкновенная (<i>Origanum vulgare</i> L.)	39,6	52,0	292,0	3,2	0,2	37,7	10,4	1,6	4,7
Котовник венгерский (<i>Nepeta pannonica</i> L.)	24,2	10,4	1005,2	0,7	0,4	20,8	5,4	2,0	6,3
Котовник кошачий (<i>Nepeta cataria</i> L.)	15,0	8,9	166,4	следы	1,3	22,4	1,2	0,4	11,2
Черноголовка обыкновенная (<i>Prunella vulgaris</i> L.)	26,4	17,0	686,5	0,5	7,8	12,5	12,0	1,0	10,1

Шалфей луговой (<i>Salvia pratensis</i> L.)	39,6	7,7	622,1	6,3	0,7	49,9	9,6	2,3	10,0
Мать-и-мачеха обыкновенная (<i>Tussilago farfara</i> L.)	2,3	2,4	144,1	4,0	0,2	63,2	8,3	1,3	3,5
Липа сердцевидная (<i>Tilia cordata</i> Mill.)	5,6	0,7	569,4	0,4	0,3	61,5	4,4	1,0	1,7

Примечание: содержание приведено в плодах у шиповника, цветках липы и в надземной травянистой массе остальных растений.

Сумма органических кислот колебалась от минимального в траве котовника кошачьего до максимального количества в траве кипрея узколистного, в котором этих веществ было почти столько же, как в плодах шиповника. Сумма каротиноидов в травянистом сырье колебалась от 1,3 мг% в траве тимьяна ползучего до 10,0 мг% в траве черноголовки обыкновенной и шалфея лугового, что всего в 2 раза меньше, чем в плодах шиповника.

Наиболее богатыми каротиноидами оказались корневища манника большого, а в корнях ряда растений количество этих пигментов находилось на уровне следов (табл. 2).

Таблица 2. Содержание БАВ в корнях дикорастущих травянистых растений, мг%

Название растений	β-каротин	Аскорбиновая кислота	Антоцианы	Каротиноиды	Флавонолы	Катехины
Подорожник большой (<i>Plantago major</i> L.)	следы	8,8	18,2	следы	38,7	7,1
Крапива жгучая (<i>Urtica urens</i> L.)	следы	17,6	4,1	0,4	15,2	7,9
Лопух паутинистый (<i>Arctium tomentosum</i> Mill.)	0,2	8,8	5,4	0,3	235,5	14,2
Одуванчик лекарственный (<i>Taraxacum officinale</i> Weber)	следы	26,4	4,5	следы	91,4	12,7
Осот огородный (<i>Sonchus oleraceus</i> L.)	0,2	17,6	1,9	5,2	73,8	12,6
Бодяк обыкновенный (<i>Cirsium vulgare</i> Airy-Shaw)	0,2	17,6	3,3	2,0	15,2	0,8
Осот шершавый (<i>Sonchus asper</i> L.)	0,2	8,8	4,2	0,5	110,1	0,8
Цикорий обыкновенный (<i>Cichorium intybus</i> L.)	0,2	17,6	4,8	0,4	1,2	11,9
Чертополох колючий (<i>Carduus acanthoides</i> L.)	0,1	8,8	10,1	0,5	34,0	0,1
Клевер красный (<i>Trifolium pretense</i> L.)	следы	26,4	1,6	следы	100,8	следы
Манник большой (<i>Glyceria maxima</i> L.)	следы	8,8	7,1	6,3	35,1	0,1
Щавель конский (<i>Rumex confertus</i> Willd.)	0,1	17,6	11,6	следы	31,6	0,8
Крапива двудомная (<i>Urtica dioica</i> L.)	0,1	17,6	2,1	0,8	1,1	0,1
Щавель кислый (<i>Runex acetosa</i> L.)	следы	8,8	1,5	1,2	53,9	следы

Рогоз широколистный (Typha latifolia L.)	следы	17,6	6,0	0,6	10,5	0,2
Сусак зонтичный (Butomus umbellatus L.)	0,2	8,8	3,8	0,9	59,7	1,6
Камыш лесной (Scirpus sylvaticus L.)	0,2	8,8	6,5	0,3	66,8	3,2
Ежеголовник простой (Sparganium simplex L.)	следы	8,8	7,8	0,9	11,7	0,8

По содержанию β -каротина на первом месте оказались корни лопуха паутинистого, а в корнях подорожника большого, крапивы жгучей, одуванчика лекарственного, клевера красного, манника большого, щавеля кислого, рогоза широколистного и ежеголовника простого содержание каротина было крайне низким. Лидерами по содержанию аскорбиновой кислоты в корнях были одуванчик лекарственный и клевер красный. В корнях остальных растений содержание витамина С было на уровне 8,8-16,6 мг%. Наибольшее содержание антоцианов оказалось в корнях подорожника большого, а наименьшее количество – в корнях щавеля кислого. Наиболее богаты Р-активными флавонолами и катехинами были корни лопуха паутинистого. Наиболее бедны этими веществами корни крапивы двудомной.

Твёрдость корней растений имеет технологическое значение для пищевой промышленности, поскольку, чем мягче корни, тем быстрее и тщательнее они будут подвергнуты измельчению режущими деталями различных механизмов. По нашим данным наиболее удобными для измельчения можно считать корни подорожника большого, лопуха паутинистого, одуванчика лекарственного, осота огородного, цикория обыкновенного, манника большого, рогоза широколистного и сусака зонтичного. Наиболее богаты сухими веществами корни крапивы жгучей, наименее – рогоза широколистного. Твёрдость корней не зависела от содержания в них сухих веществ. Наиболее богаты органическими кислотами корни клевера красного (около 1%), а наиболее бедны – корни бодяка обыкновенного, ежеголовника простого, камыша лесного, рогоза широколистного (табл. 3).

Таблица 3. Содержание органических кислот, сухих и дубильных веществ в корнях дикорастущих травянистых растений

Название растений	Содержание сухих веществ, %	Органические кислоты, %	Дубильные и красящие вещества, %	Танин, %
Подорожник большой	28,7	0,3	9,1	следы
Крапива жгучая	50,2	0,3	4,2	следы
Лопух паутинистый	34,5	0,6	15,8	1,7
Одуванчик лекарственный	29,3	0,6	10,0	0,4
Осот огородный	18,5	0,3	2,5	следы
Бодяк обыкновенный	26,9	0,2	6,7	0,8
Осот шершавый	14,2	0,3	5,8	следы
Цикорий обыкновенный	24,3	0,3	6,7	0,8
Чертополох колючий	20,3	0,3	9,1	0,4
Клевер красный	29,1	1,0	9,1	следы
Манник большой	20,6	0,32	7,5	0,8
Щавель конский	25,1	0,6	10,8	2,1
Крапива двудомная	34,5	0,3	7,5	следы
Щавель кислый	28,0	0,3	6,7	3,3
Рогоз широколистный	8,5	0,2	1,7	0,8
Сусак зонтичный	36,9	0,3	0,8	0,4
Камыш лесной	18,9	0,2	1,7	следы
Ежеголовник простой	19,8	0,2	4,2	0,8

Наиболее богаты дубильными и красящими веществами были корни лопуха паутинистого, наименее – сусака зонтичного. Содержание главного дубильного вещества – танина было наибольшим в корнях щавеля конского, а в ряде растений было на уровне следов.

Водорастворимых пектиновых веществ содержалось больше всего в корнях рогоза широколистного и сусака зонтичного, меньше всего – в корнях щавеля конского (табл. 4).

Таблица 4. Содержание пектиновых веществ в корнях дикорастущих травянистых растений, %

Название растений	Водорастворимые пектиновые вещества	Протопектин и пектиновая кислота	Общее количество пектиновых веществ
Подорожник большой	2,5	4,0	6,5
Крапива жгучая	2,1	2,5	4,6
Лопух паутинистый	2,5	2,9	5,4
Одуванчик лекарственный	2,0	2,4	4,4
Осот огородный	2,5	2,1	4,6
Бодяк обыкновенный	10,2	17,1	27,3
Осот шершавый	5,0	7,4	12,4
Цикорий обыкновенный	1,8	4,7	6,5
Чертополох колючий	8,5	6,9	15,4
Клевер красный	2,6	3,0	5,6
Манник большой	3,0	6,2	9,2
Щавель конский	1,4	1,9	3,3
Крапива двудомная	1,5	4,6	6,1
Щавель кислый	4,1	9,6	13,7
Рогоз широколистный	11,3	3,4	14,7
Сусак зонтичный	11,6	4,4	16,0
Камыш лесной	2,0	2,5	4,5
Ежеголовник простой	4,0	7,4	11,4

Протопектина в сумме с пектиновой кислотой больше всего содержалось в корнях бодяка обыкновенного, меньше всего – в корнях осота огородного. Наиболее богатыми суммой пектиновых веществ оказались корни бодяка обыкновенного, наименее – корни щавеля конского.

Выводы

1. Из травянистого сырья наибольшим количеством аскорбиновой кислоты отличалась трава репешка обыкновенного (189,2 мг%), антоцианов – душицы обыкновенной (52,0 мг%), флавонолов – котовника венгерского (1005,2 мг%), катехинов – девясила шершавого (21,4 мг%), каротиноидов (10,1 мг%), β -каротина (7,8 мг%) и танина (12,0 %) – черноголовки обыкновенной, дубильных и красящих веществ – мать-и-мачехи обыкновенной (63,2 %) и мяты полевой (64,1 %), органических кислот – кипрея узколистного (3,0 %).

2. Из изученных 18 видов растений с наибольшим количеством каротиноидов в корнях оказался манник большой (6,3 мг%), β -каротина (0,2 мг%), Р-активных флавонолов (235,5 мг%), катехинов (14,2 мг%), дубильных и красящих веществ (15,8 %) - корни лопуха паутинистого, аскорбиновой кислоты - одуванчик лекарственный (26,4 мг%) и клевер красный (26,4 мг%), антоцианов - подорожник большой (18,2 мг%), сухих веществ - крапива жгучая (50,2 %), органических кислот - клевер красный (1,0 %), танина - щавель конский (2,1 %), водорастворимых пектиновых веществ – сусак зонтичный (11,6 %), протопектина и пектиновой кислоты – бодяк обыкновенный (17,1 %), суммы пектиновых веществ - бодяк обыкновенный (27,3 %).

Список источников

1. Аверьянова Е.В., Школьников М.Н. Пектин: методы выделения и свойства: методические рекомендации к выполнению лабораторных работ для студентов направлений подготовки 19.03.01 «Биотехнология», 19.03.02 «Продукты питания из растительного сырья», магистрантов направления подготовки 19.04.02 «Продукты питания из растительного сырья». Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2015. 42 с.
2. Вигоров Л.И., Трибунская А.Я. Методы определения флавонолов и флавонов в плодах и ягодах // Труды III всесоюзного семинара по биологически активным (лечебным) веществам плодов и ягод. Свердловск, 1968. С. 492-506.
3. Власова Ж.А. Технология производства рассольного сыра с пряно-ароматическими растениями // Известия Горского ГАУ. 2015. № 52(4). С. 377-380.
4. Ефремова Ю.Е., Винницкая В.Ф. Расширение ассортимента фруктовых и фито чаев из сушёных фруктов, листьев и трав // Основы повышения продуктивности агроценозов: матер. Междунар. науч.-практ. конф. 24-26 ноября, посвящ. Памяти И.А. Муромцева и А.С. Татаринова. Мичуринск: ООО «БиС», 2015. С.233-236.
5. Ефремова Ю.Е., Винницкая В.Ф. Характеристика биохимического состава и питательной ценности сырья для создания фруктовых и травяных чаёв и напитков // Вестник МичГАУ. 2016. № 1. С. 104-108.
6. Захаров В.Л. Содержание биологически активных веществ в листьях кипрея узколистного в зависимости от продолжительности ферментации // Проблемы теории и практики современной науки: матер. V междунар. науч.-практ. конф. 18 января 2016 г. Москва: «Перо», 2016. С. 81-85.
7. Захаров В.Л. Сравнительная оценка витаминной ценности травянистого сырья яснотковых растений // Инновационные научные исследования: теория, методология, тенденция развития: сб. науч. ст. по матер. X Междунар. науч.-практ. конф. (28 марта 2023 г. г. Уфа). В 3 ч. Ч.1. Уфа: Изд. НИЦ Вестник науки, 2023. С. 160-164.
8. Захаров В.Л., Кудашкина Т.А., Жихорева В.И. Содержание биологически активных веществ в корнях лекарственных травянистых растений // Агропромышленные технологии Центральной России. 2018. № 3. С. 8-15.
9. Корнышева К.В., Тихомирова Н.А. Разработка пудинга с цикорием // Живые системы и биологическая безопасность населения: матер. XIII междунар. науч. конф. студентов и молодых учёных. Москва. 2015. С.100-103.
10. Мысник Е.Н. Характеристика рудерального компонента сорной растительности Ленинградской области // Вестник защиты растений. 2016. № 4. С. 81-86.
11. Мысник Е.Н., Захаров В.Л., Щучка Р.В. Рудеральный компонент сорной растительности агроэкосистем юго-западной части Липецкой области // Агропромышленные технологии Центральной России. 2016. Выпуск 2 (№ 2). С. 82-90.
12. Плешков Б. П. Практикум по биохимии растений. Москва: Колос, 1976. 255 с.
13. Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Мичуринск: ВНИИС им. И.В. Мичурина, 1973. 492 с.
14. Решетник Е.И., Держапольская Ю.И., Максимюк В.А. Функциональные пищевые продукты как одна из составляющих здорового образа жизни // Живые системы и биологическая безопасность населения: матер. XIII междунар. науч. конф. студентов и молодых учёных. Москва. 2015. С.170-174.
15. Тохтиева Л.Х., Цугкиева В.Б. Использование дикорастущего растительного сырья в хлебопечении // Известия Горского ГАУ. 2015. № 52(4). С. 373-377.
16. Шлык А.А. Определение хлорофилла и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев // Биохимические методы в физиологии растений. Москва: Наука, 1971. С. 154–170.
17. Douda J., Boublík K., Doudová J., & Kyncl M.. Traditional forest management practices stop forest succession and bring back rare plant species // Journal of Applied Ecology. 2017. Vol. 54(3). Pp. 761-771.

18. Kuznetsova E. S., Motiejūnaitė J., Stepanhcikova I. S., Himelbrant D. E., & Czarnota P. New records of lichens and allied fungi from the Leningrad Region, Russia // III. Folia Cryptogamica Estonica. 2012. Vol. 49. Pp. 31-37.
19. Speed J.D., & Austrheim G. The importance of herbivore density and management as determinants of the distribution of rare plant species // Biological Conservation. 2017. Vol. 205. Pp. 77-84.
20. Weber E. Invasive plant species of the world: a reference guide to environmental weeds. CABI. 2017. Vol. 35. Pp. 28-31.

References

1. Averyanova E.V., Shkolnikova M.N. Pectin: isolation methods and properties: methodological recommendations for laboratory work for students of the fields of study 19.03.01 «Biotechnology», 19.03.02 «Food from plant raw materials», undergraduates of the field of study 19.04.02 «Food from plant raw materials». Biysk: Publishing House of Alt. State Technical University, 2015. 42 p.
2. Vigorov L.I., Tribunskaya A.Ya. Methods for the determination of flavonols and flavones in fruits and berries. Proceedings of the III All-Union seminar on biologically active (therapeutic) substances of fruits and berries. Sverdlovsk, 1968. Pp. 492-506.
3. Vlasova Zh.A. Technology of production of pickled cheese with spicy-aromatic plants. News Gorskogo SAU, 2015, no. 52(4), pp. 377-380.
4. Efremova Yu.E., Vinnitskaya V.F. Expanding the range of fruit and phyto teas from dried fruits, leaves and herbs. Fundamentals of increasing the productivity of agrocenoses: materials. International Scientific and Practical Conference on November 24-26, dedicated to In memory of I.A. Muromtsev and A.S. Tarintsev. Michurinsk: BiS LLC, 2015. Pp.233-236.
5. Efremova Yu.E., Vinnitskaya V.F. Characteristics of the biochemical composition and nutritional value of raw materials for the creation of fruit and herbal teas and beverages. Bulletin of MICHSAU, 2016, no. 1, pp. 104-108.
6. Zakharov V.L. The content of biologically active substances in the leaves of narrow-leaved cypress depending on the duration of fermentation. Problems of theory and practices of modern science: mater. V International Scientific and Practical Conference on January 18, 2016. Moscow: Pero, 2016. Pp. 81-85.
7. Zakharov V.L. Comparative assessment of the vitamin value of herbaceous raw materials of clear-cut plants. Innovative scientific research: theory, methodology, development trend: collection of scientific articles on mater. X International Scientific and Practical Conference (March 28, 2023 Ufa). At 3 p.m.1. Ufa: Ed. SIC Bulletin of Science, 2023. Pp. 160-164.
8. Zakharov V.L., Kudashkina T.A., Zhikhareva V.I. The content of biologically active substances in the roots of medicinal herbaceous plants. Agro-industrial technologies of Central Russia, 2018, no. 3, pp. 8-15.
9. Kornysheva K.V., Tikhomirova N.A. Development of chicory pudding. Living systems and biological safety of the population: mater. XIII International Scientific Conference of students and young scientists. Moscow, 2015. Pp.100-103.
10. Mysnik E.N. Characteristics of the federal component of the weedy vegetation of the Leningrad region. Bulletin of Plant Protection, 2016, no. 4, pp. 81-86.
11. Mysnik E.N., Zakharov V.L., Shchuchka R.V. Federal component of weeds-news of agroecosystems of the southwestern part of the Lipetsk region. Agro-industrial technologies of Central Russia, 2016, issue 2 (no. 2), pp. 82-90.
12. Pleshkov B. P. Practical training in plant biochemistry. Moscow: Kolos Publ., 1976. 255 p.
13. Program and methodology of variety study of fruit, berry and nut crops. Michurinsk: All-Russian Scientific Research Institute of Horticulture named after I.V. Michurin, 1973. 492 p.
14. Reshetnik E.I., Derzhapolskaya Yu.I., Maksimiyuk V.A. Functional food products as one of the components of a healthy lifestyle Living systems and biological safety of the population:

mater. XIII International Scientific Conference of students and young scientists. Moscow., 2015. Pp. 170-174.

15. Tokhtieva L.Kh., Tsugkueva V.B. The use of wild-growing vegetable raw materials in bakery. News Gorskogo SAU, 2015, no. 52(4), pp. 373-377.

16. Shlyk A.A. Determination of chlorophyll and carotenoids in extracts of green leaves. Biochemical methods in plant physiology. Moscow: Nauka Publ., 1971. Pp. 154-170.

17. Douda J., Boublík K., Doudová J., & Kyncl M.. Traditional forest management practices stop forest succession and bring back rare plant species. Journal of Applied Ecology, 2017, vol. 54(3), pp. 761-771.

18. Kuznetsova E. S., Motiejūnaitė J., Stepanheikova I. S., Himelbrant D. E., & Czarnota P. New records of lichens and allied fungi from the Leningrad Region, Russia. III. Folia Cryptogamica Estonica, 2012, vol. 49, pp. 31-37.

19. Speed J.D., & Austrheim G. The importance of herbivore density and management as determinants of the distribution of rare plant species. Biological Conservation, 2017, vol. 205, pp. 77-84.

20. Weber E. Invasive plant species of the world: a reference guide to environmental weeds. CABI, 2017, vol. 35, pp. 28-31.

Информация об авторах

А.В. Барышникова – аспирант; старший преподаватель кафедры агротехнологий, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции;

У.А. Вохмина – обучающийся института агробиотехнологий и технических систем.

Information about the authors

A.V. Baryshnikova – Postgraduate student; Senior lecturer at the Department of Agricultural Technologies, Storage and Processing of Agricultural Products;

U.A. Vohmina – Student at the Institute of Agrobiotechnology and Technical Systems..

Научная статья

УДК 632.51

DOI 10.24888/2541-7835-2025-35-1-98-105

ВЛИЯНИЕ ГЛИКОЛУРИЛА НА РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ

**Кравченко Владимир Александрович^{1✉}, Сотников Борис Александрович²,
Цыкалов Александр Николаевич³, Кравченко Антонина Леонидовна⁴**

^{1,2}Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, Липецкая область, Елец, Россия

³Воронежский государственный университет им. Императора Петра 1, Воронеж, Россия

⁴Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА имени К. И. Скрябина, Москва, Россия

¹agrosoil@yandex.ru✉

²89038617643@yandex.ru

³alfribox@yandex.ru

⁴tohj85@yandex.ru

Аннотация: Цель исследования – изучение в полевых опытах влияния различных доз гликолурила на развитие растений ярового ячменя, а также определение оптимальных концентраций данного вещества для стимуляции роста и повышения урожайности культуры. Объект исследования – начальные фазы роста и развития ярового ячменя в природно-климатической зоне Центрально-Черноземного региона, характеризующейся умеренно-континентальным климатом и плодородными почвами. Материалы для исследования были собраны при закладке полевого опыта на черноземе выщелоченном тяжелосуглинистом с посевами ярового ячменя в условиях лесостепной зоны ЦЧР. Проведены полевые опыты с яровым ячменем, в ходе которых вносились различные дозы гликолурила с последующим изучением его влияния на рост и развитие корневой системы, а также надземной вегетационной массы. В процессе исследования были выделены три основные группы доз: минимальные, средние и повышенные. Установлено, что различные дозы гликолурила по-разному влияют на первоначальный рост и развитие растений. Минимальные дозы вызывают некоторое замедление в росте корневой системы и надземной части, что может быть связано с адаптацией растений к новым условиям. В то же время средние дозы, наоборот, ускоряют рост и развитие растений, способствуя увеличению биомассы и улучшению общего состояния посевов. В дальнейшем, при наступлении последующих фаз развития растений, эти различия становятся менее заметными, однако остаточный эффект от применения гликолурила сохраняется. Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что использование средних доз гликолурила может быть эффективным агротехническим приемом для повышения урожайности ярового ячменя в условиях Центрально-Черноземного региона. Результаты исследования могут быть использованы для разработки рекомендаций по оптимизации технологии возделывания данной культуры с учетом влияния гликолурила на ее рост и развитие.

Ключевые слова: гликолурил, полевые опыты, яровой ячмень, дозы мелиоранта, рост корневой системы, вегетационная масса

Для цитирования: Влияние гликолурила на развитие растений ярового ячменя / В.А. Кравченко, Б.А. Сотников, А.Н. Цыкалов, А.Л. Кравченко // Агропромышленные технологии Центральной России. 2025. № 1(35). С. 98-105. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2025-35-1-98-105>.

Original article

THE EFFECT OF GLYCOLURYL ON THE DEVELOPMENT OF SPRING BARLEY PLANTS

**Vladimir A. Kravchenko^{1✉}, Boris A. Sotnikov², Alexander N. Tsykalov³,
Antonina L. Kravchenko⁴**

^{1,2}Bunin Yelets State University, Lipetsk Region, Yelets, Russia

³Voronezh State University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

⁴Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA named after K.I. Scriabin, Moscow, Russia

¹agrosoil@yandex.ru✉

²89038617643@yandex.ru

³alfribox@yandex.ru

⁴tohj85@yandex.ru

Abstract: The aim of the research is to study, through field experiments, the influence of various doses of glycoluril on the development of spring barley plants, as well as to determine the optimal concentrations of this substance for stimulating growth and increasing crop yield. The object of the research is the initial phases of growth and development of spring barley in the natural and climatic zone of the Central Black Earth Region, characterized by a temperate continental climate and fertile soils. Materials for the research were collected during the establishment of a field experiment on leached heavy loamy chernozem with spring barley crops in the forest-steppe zone of the Central Black Earth Region. Field experiments were conducted with spring barley, during which various doses of glycoluril were applied, followed by an analysis of its impact on the growth and development of the root system, as well as the above-ground vegetative mass. In the course of the research, three main dose groups were identified: minimal, medium, and increased. It was found that different doses of glycoluril have varying effects on the initial growth and development of plants. Minimal doses cause some slowdown in the growth of the root system and above-ground parts, which may be associated with the plants' adaptation to new conditions. At the same time, medium doses, on the contrary, accelerate the growth and development of plants, promoting an increase in biomass and improving the overall condition of the crops. In the later stages of plant development, these differences become less noticeable, but the residual effect of glycoluril application persists. The obtained data allow us to conclude that the use of medium doses of glycoluril can be an effective agronomic practice for increasing the yield of spring barley in the conditions of the Central Black Earth Region. The results of the research can be used to develop recommendations for optimizing the cultivation technology of this crop, taking into account the influence of glycoluril on its growth and development.

Keywords: glycoluril, field experiments, spring barley, doses of meliorant, root system growth, vegetation mass

For citation: The effect of glycoluril on the development of spring barley plants. V.A. Kravchenko, B.A. Sotnikov, A.N. Tsykalov, A.L. Kravchenko. *Agro-industrial technologies of Central Russia*, 2025, no. 1(35), pp. 98-105. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2025-35-1-98-105>.

Введение

Исследования по влиянию гликолурила на растения проводятся уже достаточно длительное время и представляют значительный научный интерес [12, 13, 14, 15 16]. Гликолурил, являясь органическим соединением, демонстрирует многообещающие свойства в отношении стимуляции роста и развития растений [1]. В частности, экспериментальные данные свидетельствуют о том, что данное вещество оказывает положительное влияние на ключевые физиологические процессы, такие как увеличение биомассы, ускорение роста корневой системы и надземной части растений, а также повышение урожайности сельскохозяйственных культур [2]. Кроме того, гликолурил способствует усилению устойчивости растений к различным стрессовым факторам, включая патогенные микроорганизмы, что свидетельствует о его иммуномодулирующих свойствах [4, 6, 7].

Лабораторные исследования показали, что гликолурил наиболее эффективно проявляет свои биостимулирующие свойства на ранних этапах онтогенеза растений, таких как прорастание семян и начальные фазы вегетативного роста [8, 9]. Это связано с его способностью активировать метаболические процессы, связанные с делением клеток и синтезом биологически активных соединений. Однако, несмотря на полученные положительные результаты в контролируемых условиях, вопрос о влиянии гликолурила на растения в полевых условиях остается недостаточно изученным [10, 11]. В частности, требуется уточнение оптимальных дозировок, частоты и методов внесения данного вещества, а также оценка его взаимодействия с различными типами почв и климатическими условиями.

Особый интерес представляет потенциал гликолурила как удобрения с медленным высвобождением азота [17, 18]. Это свойство может быть особенно полезным в контексте устойчивого сельского хозяйства, так как позволяет минимизировать потери азота вследствие вымывания или испарения, что характерно для традиционных азотных удобрений. Однако применение гликолурила в сельскохозяйственной практике требует проведения дополнительных исследований, направленных на изучение его долгосрочного воздействия на почвенную микрофлору, структуру почвы и экосистемы в целом. На данный момент гликолурил

не получил широкого распространения в качестве удобрения, и его использование носит преимущественно экспериментальный характер.

Актуальность дальнейших исследований гликолурила обусловлена необходимостью разработки новых, более эффективных и экологически безопасных агрохимических средств, способных повысить продуктивность сельскохозяйственных культур в условиях современных систем земледелия. Внедрение таких технологий может способствовать решению задач, связанных с обеспечением продовольственной безопасности и снижением антропогенной нагрузки на окружающую среду. Таким образом, изучение гликолурила и его производных представляет собой перспективное направление в агрохимии и физиологии растений.

Цель настоящего исследования – изучение в полевых опытах влияния различных доз гликолурила на развитие растений ярового ячменя, а также определение оптимальных концентраций данного вещества для стимуляции роста и повышения урожайности культуры.

Материалы и методы исследования

Опыты проводились в почвенно-климатических условиях Липецкой области. Исследования проводились в течение вегетационного периода 2024 года, на базе опытных участков института агробиотехнологий и технических систем Елецкого государственного университета им. И.А. Бунина. Почва – чернозем выщелоченный, тяжелосуглинистый. Содержание гумуса 5,2%, pH_{kci} 5.7 содержание подвижного фосфора 98 мг/кг почвы, обменного калия 114 мг/кг. Закладка опытов осуществлялась согласно методике проведения полевых опытов [1], в трехкратной повторности с рандомизированным размещением делянок. Размер делянок 2 на 2 метра.

Климатические параметры 2024 года на момент осуществления опытов соответствовали средне климатическим нормам.

Преимущественно наблюдения вели за ростом и развитием корневой системы и вегетативной массы, так как в лабораторных исследованиях результат по этим параметрам был положительным.

Результаты исследований и их обсуждение

Результаты по развитию надземной вегетационной массы и корневой системы приведены в следующих таблицах (табл. 1, 2, 3).

Таблица 1. Влияние различных доз гликолурила на рост растений ярового ячменя на третий день после всходов (сроки определения 27.05.2024 г.)

№ п.п.	Контроль		50 кг/га		100 кг/га		150 кг/га		200 кг/га	
	Корни (см)	Стебли (см)	Корни (см)	Стебли (см)	Корни (см)	Стебли (см)	Корни (см)	Стебли (см)	Корни (см)	Стебли (см)
1	4,2	14,2	8,8	9,8	6,9	11,7	6,3	10,7	5,3	13,7
2	4,7	19,9	8,0	10,0	7,0	11,5	6,6	10,5	5,1	14,0
3	4,0	14,0	8,7	9,9	6,8	11,5	6,0	10,5	5,0	19,9
4	4,4	14,1	8,7	9,5	6,7	11,7	6,1	10,6	5,3	13,7
5	4,8	14,2	8,5	9,6	6,8	11,0	6,2	10,3	5,5	19,9
6	4,4	14,4	8,4	9,8	6,9	11,1	6,3	10,4	5,6	13,8
7	4,7	14,5	8,9	9,8	6,6	11,8	6,2	10,0	5,4	13,7
8	4,5	14,0	8,7	9,6	6,6	11,4	6,0	10,8	5,8	14,0
9	4,6	14,1	8,6	9,7	6,5	11,4	6,4	10,5	5,9	14,1
10	4,5	14,2	8,6	9,6	6,7	11,3	6,3	10,5	5,8	13,9
среднее	4,5	14,1	8,6	9,7	6,7	11,4	6,2	10,5	5,5	13,9

Анализ таблицы и измерения, проведенные в течение трех дней после всходов, позволяет сделать следующие выводы о влиянии различных доз гликолурила на рост надземной вегетативной массы и корневой системы ярового ячменя:

1. Контроль (без обработки гликолурилом):

корневая система: средняя длина корней составляет 4,5 см. Это базовый показатель для сравнения;

надземная вегетативная масса: средняя длина стеблей — 14,1 см. Это также базовый показатель.

2. Обработка гликолурилом в дозе 50 кг/га:

корневая система: средняя длина корней увеличилась до 8,6 см, что почти в 2 раза больше, чем в контроле. Это указывает на стимулирующее влияние гликолурила на рост корней;

надземная вегетативная масса: средняя длина стеблей снизилась до 9,7 см, что на 31% меньше, чем в контроле. Это может свидетельствовать о том, что при данной дозе гликолурил стимулирует развитие корневой системы в ущерб надземной массе.

3. Обработка гликолурилом в дозе 100 кг/га:

корневая система: средняя длина корней уменьшилась до 6,7 см, что меньше, чем при дозе 50 кг/га, но всё ещё на 49% больше, чем в контроле;

надземная вегетативная масса: средняя длина стеблей составила 11,4 см, что на 19% меньше, чем в контроле, но больше, чем при дозе 50 кг/га. Это может указывать на частичное восстановление баланса между ростом корней и стеблей.

4. Обработка гликолурилом в дозе 150 кг/га:

корневая система: средняя длина корней снизилась до 6,2 см, что на 38% больше, чем в контроле, но меньше, чем при дозах 50 и 100 кг/га;

надземная вегетативная масса: средняя длина стеблей составила 10,5 см, что на 25% меньше, чем в контроле. Это указывает на продолжение тенденции снижения роста стеблей при увеличении дозы гликолурила.

5. Обработка гликолурилом в дозе 200 кг/га:

корневая система: средняя длина корней составила 5,5 см, что на 22% больше, чем в контроле, но меньше, чем при всех предыдущих дозах;

надземная вегетативная масса: средняя длина стеблей составила 13,9 см, что практически равно контролю (всего на 1,4% меньше). Это может свидетельствовать о том, что при данной дозе гликолурил перестаёт угнетать рост стеблей, но его стимулирующее влияние на корневую систему также снижается.

По прошествии семи дней после первого определения получили следующие результаты:

Таблица 2 Влияние различных доз гликолурила на рост растений ярового ячменя на седьмой день после всходов (сроки определения 03.06.24 г.)

№ п.п.	Контроль		50 кг/га		100 кг/га		150 кг/га		200 кг/га	
	Корни (см)	Стебли (см)	Корни (см)	Стебли (см)	Корни (см)	Стебли (см)	Корни (см)	Стебли (см)	Корни (см)	Стебли (см)
1	7,8	21,3	6,9	21,6	8,3	21,3	7,1	21,4	6,8	17,8
2	7,7	21,0	7,0	21,5	8,0	21,1	7,0	21,4	7,0	17,8
3	7,8	21,2	6,7	21,5	8,1	21,4	7,2	21,7	6,9	17,2
4	7,9	21,1	6,9	21,7	8,3	21,2	7,4	21,8	6,5	17,3
5	8,0	21,1	6,8	21,4	8,4	21,4	7,5	22,3	6,6	17,1
6	7,6	21,9	6,8	21,9	8,5	21,3	7,6	24,4	6,5	17,0
7	7,7	21,1	6,7	21,9	8,3	21,3	7,7	25,5	6,8	17,5

8	7,8	21,3	6,6	22,0	8,4	21,0	7,8	24,5	6,7	17,7
9	7,5	21,4	6,8	21,7	8,2	21,2	7,5	24,0	6,9	17,4
10	7,9	21,6	6,9	21,6	8,1	21,4	7,6	24,1	6,7	17,8
среднее	7,8	21,3	6,8	21,7	8,3	21,3	7,5	23,1	6,7	17,5

В табл. 1 (27.05.2024 г.) гликолурил в дозе 50 кг/га значительно стимулировал рост корней, но угнетал стебли. В табл. 2 (03.06.2024 г.) наблюдается обратная тенденция: при дозе 50 кг/га корни угнетаются, а стебли слабо стимулируются. При дозе 100 кг/га в табл. 1 наблюдалось угнетение стеблей, а в таблице 2 длина стеблей осталась на уровне контроля. При дозе 150 кг/га в табл. 1 наблюдалось угнетение стеблей, а в табл. 2 – их стимулирование. При дозе 200 кг/га в обеих таблицах наблюдается угнетение корней и стеблей.

По прошествии десяти дней были проведены очередные измерения. Результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3 Влияние различных доз гликолурила на рост растений ярового ячменя на десятый день после всходов (сроки определения 10.06.2024 г.)

№ п.п.	Контроль		50 кг/га		100 кг/га		150 кг/га		200 кг/га	
	Корни (см)	Стебли (см)	Корни (см)	Стебли (см)	Корни (см)	Стебли (см)	Корни (см)	Стебли (см)	Корни (см)	Стебли (см)
1	9,0	25,0	8,9	26,9	9,9	28,0	9,8	29,8	8,0	28,3
2	9,2	28,9	9,0	27,0	10,1	27,9	9,5	30,1	8,1	28,4
3	9,1	26,3	9,1	27,1	10,3	28,2	9,7	29,9	8,2	28,0
4	9,0	26,0	9,2	27,3	10,0	29,2	9,5	30,0	8,0	28,6
5	8,9	26,8	8,9	26,8	10,2	29,3	9,4	30,7	8,3	28,5
6	9,4	26,5	9,0	26,8	10,3	29,0	9,2	30,0	8,1	28,2
7	9,3	25,8	9,3	27,1	10,4	29,4	9,4	30,5	8,2	28,4
8	9,4	26,3	9,4	27,2	9,9	29,3	9,5	30,6	8,1	28,5
9	9,1	26,2	9,5	27,1	10,6	29,3	9,6	30,8	8,2	29,6
10	9,2	27,3	9,2	27,0	10,7	29,5	9,8	30,7	8,8	29,3
среднее	9,2	26,5	9,2	27,0	10,2	28,9	9,5	30,3	8,2	28,6

В сравнении с данными табл. 1 и 2 можно сделать вывод, что в таблице 1 (27.05.2024 г.) доза 50 кг/га значительно стимулировала корни, но угнетала стебли. В табл. 3 (10.06.2024 г.) при той же дозе корни остались на уровне контроля, а стебли слабо стимулировались.

В таблице 2 (03.06.2024 г.) доза 100 кг/га стимулировала корни, но не влияла на стебли. В табл. 3 (10.06.2024 г.) при той же дозе наблюдается стимулирование как корней, так и стеблей.

В табл. 2 (03.06.2024 г.) доза 150 кг/га стимулировала стебли, но угнетала корни. В табл. 3 (10.06.2024 г.) при той же дозе корни слабо стимулируются, а стебли – значительно.

В табл. 2 (03.06.2024 г.) доза 200 кг/га угнетала как корни, так и стебли. В табл. 3 (10.06.2024 г.) при той же дозе корни угнетаются, но стебли стимулируются.

Выводы

1. Гликолурил оказывает дозозависимое влияние на рост и развитие ярового ячменя.
2. Наиболее сбалансированным эффектом обладает доза 100 кг/га, которая стимулирует как корневую систему, так и надземную массу.

3. Доза 150 кг/га может быть полезна для максимального стимулирования стеблей, но требует осторожности из-за слабого влияния на корни.
4. Доза 200 кг/га не рекомендуется из-за угнетения корневой системы.

Список источников

1. Астафурова Т. П. и др. Влияние гликолурила на продуктивность яровой пшеницы / Т. П. Астафурова, С. А. Сучкова, М. А. Салаев [и др.] // Вестник Томского государственного университета. 2014. № 389. С. 263-267.
2. Астафурова Т. П. и др. Влияние гликолурила на структурно-функциональные параметры яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) / Т. П. Астафурова, С. А. Сучкова, С. И. Михайлова, А. А. Буренина, М. А. Салаев // Физиология растений – теоретическая основа инновационных агро- и фитобиотехнологий : материалы международной научной конференции и школы молодых ученых (Калининград, 19-25 мая 2014 г.). Калининград : Аксиос, 2014. Ч. II. С. 46-48.
3. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник для высших сельскохозяйственных учебных заведений. Стереотипное издание. Перепечатка с 5-го изд., доп. и перераб., 1985 г. Москва: Альянс, 2014. 351 с.
4. Наумкин В. Н., Ступин А. С. Технология растениеводства: учебное пособие. Санкт-Петербург: Лань, 2018. 384 с.
5. Практикум по селекции и семеноводству полевых культур / В. В. Пыльнев, Ю. Б. Коновалов, А. Н. Березкин [и др.]; под ред. В. В. Пыльнева. Москва: КолосС, 2008. 504 с.
6. Савельев В. А. Растениеводство: учебное пособие. 2-е изд., доп. Санкт-Петербург: Лань, 2019. 336 с.
7. Сотников Б. А. и др. Влияние гликолурила на всходы подсолнечника и сахарной свеклы / Б. А. Сотников, В. А. Кравченко, А. Н. Цыкалов, Р. В. Щучка // International Agricultural Journal. 2022. Т. 65. № 3.
8. Сотников Б. А. и др. Влияние препаратов из группы гликолурила на рост и развитие подсолнечника / Б. А. Сотников, В. А. Кравченко, А. Л. Кравченко, А. Н. Цыкалов // Агропромышленные технологии Центральной России. 2022. № 1 (23). С. 54–58.
9. Сотников Б. А. и др. Сравнительная характеристика влияния различных доз и форм гликолурила на растения сахарной свеклы / Б. А. Сотников, В. А. Кравченко, А. Н. Цыкалов // Агропромышленные технологии Центральной России. 2022. № 1 (23). С. 64–70.
10. Щучка Р. В. и др. Оптимизация технологии возделывания ярового ячменя в регионе Черноземья / Р. В. Щучка, В. А. Кравченко, В. Л. Захаров, Б. А. Сотников // АгроЭкоИнфо. 2021. № 4 (46).
11. Shchuchka R. V. et al. Biological efficiency of the application of herbicides on spring barley in the Chernozem region / R. V. Shchuchka, V. A. Kravchenko, V. L. Zakharov // Entomology and Applied Science Letters. 2021. Vol. 8. No. 3. Pp. 8-14.
12. Fernandez-Escobar R., Benlloch M., Herrera E., GarciaNovelo J.M. Effect of traditional and slow-release N fertilizers on growth of olive nursery plants and N losses by leaching // Scientia Horticulturae. 2004. Vol. 101. Pp. 39-49.
13. Herrera J.M., Noulas C., Feil B., Stamp P., Liedgens M. Nitrogen and genotype effects on root growth and root survivorship of spring wheat // J. Plant Nutr. Soil Sci. 2013. Vol. 176. Pp. 561–571.
14. He X., Liao Z., Huang P., Duan J., Ge R., Li H., Geng Z. Characteristics and Performance of Novel Water-Absorbent Slow Release Nitrogen Fertilizers // Agricultural Sciences in China. 2007. Vol. 6. Pp. 338–346.
15. Madani A., Makarem A.H., Vazin F., Joudi M. The impact of post-anthesis nitrogen and water availability on yield formation of winter wheat // Plant Soil Environ. 2012. Vol. 58. Pp. 9–14.

16. Massoudifar O., Kodjouri F.D., Mohammadi G.N., Mirhadi M.J. Effect of nitrogen fertilizer levels and irrigation on quality characteristics in bread wheat (*Triticum aestivum* L.) // *Archives of Agronomy and Soil Science*. 2014. Vol. 60. Pp. 925–934.

17. Shavit U., Shaviv A., Shalit G., Zaslavsky D. Release characteristics of a new controlled release fertilizer // *Journal of Controlled Release*. 1997. Vol. 43. Pp. 131–138

18. Shimizu T. Glycoluril as a slow-release nitrogen fertilizer // *Soil. Sci. Plant Nutr.* 1987. Vol. 33. Pp. 291–298.

References

1. Astafurova T. P. et al. The effect of glycoluril on the productivity of spring wheat. T. P. Astafurova, S. A. Suchkova, M. A. Salaev [et al.]. *Bulletin of Tomsk State University*, 2014, no. 389, pp. 263–267.

2. Astafurova T. P. et al. The effect of glycoluril on the structural and functional parameters of spring wheat (*Triticum aestivum* L.). T. P. Astafurova, S. A. Suchkova, S. I. Mikhailova, A. A. Burenina, M. A. Salaev. *Plant physiology – the theoretical basis of innovative agro- and phytobio-technology : proceedings of the international scientific conference and school of young Scientists scientists (Kaliningrad, May 19-25, 2014)*. Kaliningrad: Axios, 2014. Part II. Pp. 46–48.

3. Dospekhov B. A. *Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results): textbook for higher agricultural educational institutions. A stereotypical publication. Reprint from the 5th ed., supplement and revision, 1985*. Moscow: Alliance, 2014. 351 p.

4. Naumkin V. N., Stupin A. S. *Technology of crop production: the training manual*. Saint Petersburg: Lan Publ., 2018. 384 p.

5. *Workshop on breeding and seed production of field crops / V. V. Pylnev, Yu. B. Konovlov, A. N. Berezkin [et al.]; edited by V. V. Pylnev*. Moscow: KolosS Publ., 2008. 504 p.

6. Savelyev V. A. *Plant breeding: a textbook*. 2nd ed., supplement. Saint Petersburg: Lan Publ., 2019. 336 p.

7. Sotnikov B. A. et al. The effect of glycoluril on sunflower and sugar beet seedlings. B. A. Sotnikov, V. A. Kravchenko, A. N. Tsykalov, R. V. Shchuchka. *International Agricultural Journal*, 2022, vol. 65, no. 3.

8. Sotnikov B. A. et al. The effect of preparations from the glycoluril group on the growth and development of sunflower. B. A. Sotnikov, V. A. Kravchenko, A. L. Kravchenko, A. N. Tsykalov. *Agro-industrial technologies of Central Russia*, 2022, no. 1 (23), pp. 54–58.

9. Sotnikov B. A. et al. Comparative characteristics of the effect of various doses and forms of glycoluril on sugar beet plants. B. A. Sotnikov, V. A. Kravchenko, A. N. Tsykalov. *Agro-industrial technologies of Central Russia*, 2022, no. 1 (23), pp. 64–70.

10. Shchuchka R. V. et al. Optimization of spring barley cultivation technology in the Chernozem region. R. V. Shchuchka, V. A. Kravchenko, V. L. Zakharov, B. A. Sotnikov. *AgroEcoInfo*, 2021, № 4 (46).

11. Shchuchka R. V. et al. Biological efficiency of the application of herbicides on spring barley in the Chernozem region. R. V. Shchuchka, V. A. Kravchenko, V. L. Zakharov. *Entomology and Applied Science Letters*, 2021, vol. 8, no. 3, pp. 8–14.

12. Fernandez-Escobar R., Benlloch M., Herrera E., GarciaNovelo J.M. Effect of traditional and slow-release N fertilizers on growth of olive nursery plants and N losses by leaching. *Scientia Horticulturae*, 2004, vol. 101, pp. 39–49.

13. Herrera J.M., Noulas C., Feil B., Stamp P., Liedgens M. Nitrogen and genotype effects on root growth and root survivorship of spring wheat. *J. Plant Nutr. Soil Sci*, 2013, vol. 176, pp. 561–571.

14. He X., Liao Z., Huang P., Duan J., Ge R., Li H., Geng Z. Characteristics and Performance of Novel Water-Absorbent Slow Release Nitrogen Fertilizers. *Agricultural Sciences in China*, 2007, vol. 6, pp. 338–346.

15. Madani A., Makarem A.H., Vazin F., Joudi M. The impact of post-anthesis nitrogen and water availability on yield formation of winter wheat. *Plant Soil Environ*, 2012, vol. 58, pp. 9–14.

16. Massoudifar O., Kodjouri F.D., Mohammadi G.N., Mirhadi M.J. Effect of nitrogen fertilizer levels and irrigation on quality characteristics in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Archives of Agronomy and Soil Science, 2014, vol. 60, pp. 925-934.

17. Shavit U., Shaviv A., Shalit G., Zaslavsky D. Release characteristics of a new controlled release fertilizer. Journal of Controlled Release, 1997, vol. 43, pp. 131-138.

18. Shimizu T. Glycoluril as a slow-release nitrogen fertilizer. Soil. Sci. Plant Nutr, 1987, vol. 33, pp. 291-298.

Информация об авторах

В.А. Кравченко – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агротехнологий, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции;

Б.А. Сотников – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агротехнологий, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции;

А.Н. Цыкалов – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры растениеводства;

А.Л. Кравченко – кандидат биологических наук, и.о. заведующего кафедрой химии им. профессоров С.И. Афонского и А.Г. Малахова.

Information about the authors

V.A. Kravchenko – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agrotechnology, Storage and Processing of Agricultural Products;

B.A. Sotnikov – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agricultural Technologies, Storage and Processing of Agricultural Products;

A.N. Tsykalov – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Plant Breeding;

A.L. Kravchenko – Candidate of Biological Sciences, Acting Head of the Department of Chemistry named after Professors S.I. Afonsky and A.G. Malakhov.

АГРОИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

AGROENGINEERING SYSTEMS AND TECHNOLOGIES

Научная статья

УДК 631.361.022

DOI 10.24888/2541-7835-2025-35-1-106-114

РАЗРАБОТКА ДРОБИЛКИ-КАЛИБРАТОРА КОРМОВ ДЛЯ ДОМАШНЕЙ ПТИЦЫ

**Бунеев Сергей Сергеевич^{1✉}, Шубкин Сергей Юрьевич², Клапп Анатолий Владимирович³,
Чудинов Евгений Сергеевич⁴**

^{1,2,3,4}Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, Липецкая обл., Елец, Россия

¹limes88@mail.ru✉

²shubkin.92@mail.ru

³klappanat@yandex.ru

⁴chudinov.evgenij@mail.ru

Аннотация. В данной статье приведены результаты исследований по различным аспектам функционирования дробилки-калибратора. Устройство предназначено для измельчения различных видов зерновых культур, бобовых и масличных растений, а также других видов сырья растительного происхождения. Представленное техническое решение направлено на объединение двух технологических процессов – это дробление продукта, поступающего из загрузочного, служащего для подачи сырья в камеру дробления, где оно подвергается механическому воздействию молотков, закрепленных на роторе, и технологического процесса сортировки исходного продукта, осуществляемого вибрационным решето (сортировщиком). Предлагаемая технология представляет собой инновационное решение, которое может позволить фермерским хозяйствам оптимизировать процесс производства кормов для домашних животных. Благодаря внедрению разработанного оборудования, фермерские хозяйства получают возможность самостоятельно производить корма, что значительно сократит время и затраты на этот процесс, и, в свою очередь, позволит улучшить экономические показатели ферм.

Ключевые слова: камера дробления, дробилка-калибратор, калибровочная камера, сито, эксцентриковый вал

Для цитирования: Разработка дробилки-калибратора кормов для домашней птицы / С.С. Бунеев, С.Ю. Шубкин, А.В. Клапп, Е.С. Чудинов // Агропромышленные технологии Центральной России. 2025. № 1(35). С. 106-114. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2025-35-1-106-114>.

Original article

DEVELOPMENT OF A FEED CALIBRATOR CRUSHER FOR POULTRY

Sergey S. Buneev^{1✉}, Sergey Yu. Shubkin², Anatoly V. Klapp⁴, Evgeniy S. Chudinov⁴

^{1,2,3,4}Bunin Yelets State University, Lipetsk region, Yelets, Russia

¹limes88@mail.ru✉

²shubkin.92@mail.ru

³klappanat@yandex.ru

⁴chudinov.evgenij@mail.ru

Abstract. This article presents the results of studies on various aspects of the operation of the crusher-calibrator. The device is designed to crush various types of grain crops, legumes and oil plants, as well as other types of raw materials of plant origin. The presented technical solution is aimed at combining two technological processes - crushing the product coming from the loading hopper used to feed the raw material into the crushing chamber, where it is subjected to the mechanical action of hammers fixed on the rotor

and the technological process of sorting the original product, carried out by a vibrating sieve (sorter). The proposed technology is an innovative solution that can allow farms to optimize the process of producing pet food. Thanks to the implementation of the developed equipment, farms will be able to independently produce feed, which will significantly reduce the time and costs of this process, and, in turn, will improve the economic performance of farms.

Keywords: *crushing chamber, crusher-calibrator, calibration chamber, sieve, eccentric shaft*

For citation: *Development of a feed calibrator crusher for poultry. S.S. Buneev, S.Yu. Shubkin, A.V. Klapp, E.S. Chudinov. Agro-industrial technologies of Central Russia, 2025, no. 1(35), pp. 106-114. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2025-35-1-106-114>.*

Введение

В современном животноводстве и птицеводстве одним из ключевых аспектов успешного производства является обеспечение животных и птиц качественными кормами [2, 4, 11]. Важным этапом обработки кормов является их измельчение, которое позволяет улучшить усвоение питательных веществ и повысить эффективность кормления [5, 9, 10]. В этой связи разработка и исследование новых технологий и оборудования для измельчения кормов является актуальной задачей.

Дробилка-калибратор кормов – важный элемент в системе подготовки кормов для животных и птицы [1, 7, 8]. Она предназначена для измельчения и разделения кормов на фракции разных размеров [3, 6].

В статье рассматривается принцип работы дробилки-калибратора, его преимущества и недостатки, а также перспективы развития и применения в сельском хозяйстве. Приводится математическая модель процесса измельчения грубых кормов в дробилке молоткового типа.

Цель исследования – анализ существующих технологий измельчения кормов и разработка перспективной конструкции дробилки, которая позволит получать более однородный по гранулометрическому составу продукт с минимальными затратами энергии.

Материалы и методы исследований

Исследования проводились в 2023-2024 гг. на базе кафедры агроинженерии, мехатронных и радиоэлектронных систем Елецкого государственного университета им. И.А. Бунина. На кафедре ведется научно-исследовательская работа по теме «Динамика, прочность и надёжность машин, агрегатов и промышленного технологического оборудования в агропромышленном комплексе», один из разделов которой посвящен оптимизации сельскохозяйственных процессов методами математического и компьютерного моделирования.

Объект исследования – дробилка-калибратор молоткового типа.

В основе исследования – системный подход, позволивший установить связь между параметрами разработанной перспективной конструкции дробилки-калибратора кормов для домашней птицы, а также учитывать динамику дробления исходного зернового продукта.

Использованы сведения земледельческой (сельскохозяйственной) механики теоретического и экспериментального характера, а также законы классической механики.

Результаты исследований и их обсуждение

Бункеры предлагается выполнить в форме усеченной пирамиды. Они используются для подачи в машину зерновых продуктов со стороны дробилки и уже измельчённых продуктов со стороны калибратора (сортировщика).

Описание предлагаемой машины.

На рис. 1 представлена схема дробилки-калибратора, выполненная с использованием системы автоматизированного проектирования КОМПАС 3D.

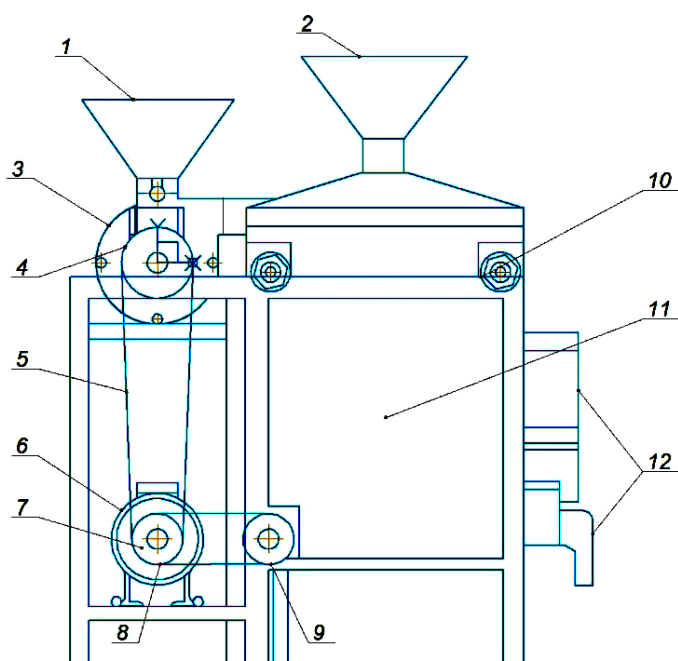


Рисунок 1. Дробилка-калибратор:

1 – загрузочный бункер дробилки; 2 – загрузочный бункер калибратора; 3 – камера измельчения; 4 – ведомый шкив привода вала дробилки; 5 – ремень привода вала дробилки; 6 – электродвигатель; 7 – ведущий шкив привода вала дробилки и вала эксцентрика; 8 – ремень привода вала эксцентрика; 9 – ведомый шкив привода вала эксцентрика; 10 – оси подвески калибровочной камеры; 11 – калибровочная камера; 12 – желоба для сбора продукта

Камера измельчения представляет собой пространство, предназначенное для измельчения зерновых продуктов. В нем находятся ротор с молотками, дека и решето, а также продукт, помещенный в него для измельчения. Его диаметр предлагается выбрать в размере 350 мм, и он должен быть изготовлен из пищевой нержавеющей стали.

Молотки в форме прямоугольного параллелепипеда изготавливаются из пищевой нержавеющей стали и имеют размер 100x15x10 мм. Эти молотки, в количестве шестнадцати штук, устанавливаются на четырех осях. Молотки расположены со смещением в рядах и могут свободно поворачиваться в вертикальной плоскости.

Люк загрузочного бункера дробилки, выполненный из нержавеющей стали, используется для регулирования потока продукта, поступающего в камеру измельчения из бункера.

Решета, разработанные в данном исследовании, предназначены для сортировки (калибровки) измельчаемого продукта по размерам на четырех различных уровнях: дробилка оснащена решетом диаметром 8 мм, а в калибровочной камере предлагается установить три решета с ячейками диаметром 6 мм; 4 мм и 1,5 мм, которые последовательно смонтированы сверху вниз параллельно друг другу и имеют угол наклона 10° к горизонтальной поверхности.

Площадь просеивания решет составляет 596x596 мм.

Калибровочная камера, изготовленная из стали 08X18H10, и включает три решета. Она имеет форму прямоугольного параллелепипеда размером 500 мм x 600 мм x 800 мм и шарнирно, при помощи двух осей, прикреплена к раме, что позволяет ей совершать колебательные движения с незначительной амплитудой.

Эксцентрик представляет собой смещенный цилиндр диаметром 100 мм, соединенный с валом диаметром 40 мм при помощи шпонки и закрепленный от смещения в осевом направлении стопорным винтом.

Вал дробилки имеет ступенчатую форму диаметром 30 мм и 35 мм. Этот стальной стержень имеет на одном конце, где диаметр составляет 30 мм, втулку со шпонкой для дер-

жателя молотка. На другом конце, где диаметр составляет 35 мм, выполнен шпоночный паз, позволяющий приводить вал в движение с помощью шкива.

Желоба для сбора продукта толщиной 3 мм изготовлены из пищевой нержавеющей стали и позволяют извлекать измельченный и/или откалиброванный продукт. Таким образом, каждая решетка калибратора оснащена желобом для сбора продукта.

Рама – это элемент, служащий опорой для двух функциональных частей машины, которыми являются дробилка и калибратор. Она представляет собой сварную конструкцию. Её габаритные размеры 1300 x 800 x 1300 мм.

Ниже представлена технологическая схема проектируемой дробилки и описан принцип работы проектируемой дробилки-калибратора.

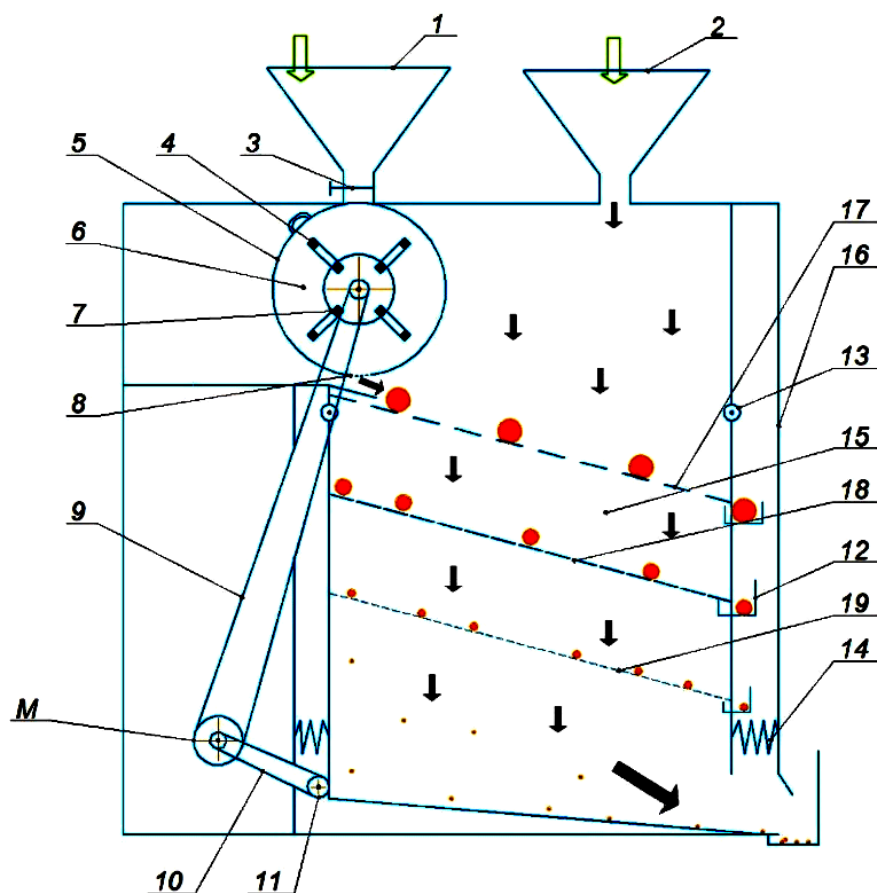


Рисунок 2. Технологическая схема работы дробилки-калибратора

1 - загрузочный бункер дробилки; 2 - загрузочный бункер калибратора; 3 - люк загрузочного бункера дробилки; 4 - молоток; 5 - камера измельчения; 6 - вал дробилки; 7 - ротор; 8 - решето дробилки с ячейками $d = 8$ мм; 9 - ремень привода вала дробилки; 10 - ремень привода вала эксцентрика; 11 - эксцентрик привода калибровочной камеры; 12 - желоба для сбора продукта; 13 - оси подвески калибровочной камеры; 14 - пружина; 15 - калибровочная камера; 16 - рама; 17 - решето калибровочной камеры с ячейками $d = 6$ мм; 18 - решето калибровочной камеры с ячейками $d = 4$ мм; 19 - решето калибровочной камеры с ячейками $d = 1,5$ мм; М - электродвигатель привода вала дробилки и вала эксцентрика калибровочной камеры

Работает проектируемая дробилка следующим образом.

Исходный материал подается в камеру измельчения 5 машины из загрузочного бункера 1, попадая на ротор 7 с закрепленными на нем молотками 4. Ротор 7 приводится во вращательное движение совместно с валом 6 при помощи ремённой передачи электродвигателем М. Молотки 4 с цикличностью, зависящей от частоты вращения вала 6, ударяют по материалу, вызывая его измельчение. Измельчение осуществляется за счет воздействия между мате-

риалом и молотками 4, с одной стороны, и между материалом и внутренней стенкой камеры измельчения 5, с другой стороны. Под действием силы тяжести измельченный материал проходит через решето 8 с ячейками $d = 8$ мм, где отсеиваются нужные фракции, которые попадают в калибровочную камеру 15. Электродвигатель М привода вала 6 дробилки одновременно приводит в действие вал эксцентрика 11, сообщающего импульс калибровочной камере 15, совершающей колебания определённой частоты. Измельченный продукт, поступающий из дробилки или непосредственно из загрузочного бункера калибратора 2, находится на первом решете 17 калибровочной камеры 15. Калибровка продукта обеспечивается комбинированным воздействием вибрации калибровочной камеры и наклоном решет на угол 10° . Сортируемый продукт проходит последовательно через три решета 17, 18, 19. На уровне каждого решета частицы размером меньше или равным размеру ячейки проходят сквозь него, в то время как более крупные сходом поступают в желоб 12 и далее в тару для сбора продукта. Между рамой 16 и калибровочной камерой 15 расположен набор пружин 14 (четыре идентичные пружины), которые предназначены для гашения удара, производимого эксцентриком 11, с одной стороны, и усиления вибрации, с другой стороны. Помимо использования машины в качестве дробилки-калибратора, ее можно использовать как обычный калибратор (сортировщик).

Теперь приведем вариант математической модели для процесса измельчения кормов в проектируемой молотковой дробилке, в которой дробление будет рассматриваться как непрерывный процесс; для описания такого процесса прибегнем к использованию обыкновенных дифференциальных уравнений.

Введем следующие обозначения:

- $c(x, t)$ – функция концентрации (масса или число) частиц размером x в момент времени t ;
- c_{ex} – функция, обозначающая распределение материала по размеру частиц, поступающего в дробилку;
- V – объём камеры измельчения, м^3 ;
- Q – объемный расход материала, $\text{м}^3/\text{с}$.

Дробление происходит за счёт ударов молотков, которые установлены на ротор. Тогда энергия удара запишется в виде:

$$E = \frac{m(\omega r)^2}{2}, \quad (1)$$

где m – масса молотка, кг; ω – угловая скорость, рад/с; r – расстояние от центра вращения до точки приложения удара, м.

Скорость дробления можно записать в виде:

$$K(x) = kE = k \frac{m(\omega r)^2}{2}, \quad (2)$$

где k – корректирующий эмпирический множитель, который подбирается экспериментально при проведении испытаний дробилок. Этот коэффициент определяет, какая доля кинетической энергии способствует разрушению материала. В идеальных условиях без потерь он равен 1. Но в реальности k меньше единицы.

Допустим, что для кормового материала характерно распределение частиц по размеру, и оно характеризуется функцией $c(x, t)$. Предположим, что начальное распределение материала задано функцией c_{ex} ; материал поступает в дробилку имеющую расход Q и объём камеры V , тогда можно записать уравнение материального баланса следующим образом:

$$\frac{\partial c(x, t)}{\partial t} = \frac{Q}{V} (c_{\text{ex}}(x) - c(x, t)) - K(x)c(x, t) + \int_x^\infty K(y)c(y, t)p(x, y)dy, \quad (3)$$

где $p(x, y)$ – функция вероятностной плотности; $\frac{Q}{V}(c_{\text{вх}}(x, t) - c(x, t))$ – приток новой порции материала и отток уже дробленой фракции; $K(x, t)c(x, t)$ – скорость, с которой происходит разрушение частиц размером x ; $\int_x^{\infty} K(y)c(y, t)p(x, y)dy$ – это доля частиц, имеющих размер x , которые возникают в результате дробления частиц большего размера – y .

Для описания процесса фрагментации (в нашем случае дробление) частиц размера y можно воспользоваться функцией распределения Розина – Раммлера:

$$F(x, y) = \frac{1 - e^{-\left(\frac{x}{\lambda y}\right)^{\beta}}}{1 - e^{-\left(\frac{1}{\lambda}\right)^{\beta}}}, \quad 0 \leq x \leq y, \quad (4)$$

где β, α – параметры, определяемые экспериментально.

Теперь можно определить вид функции $p(x, y)$. Для этого возьмем частную производную первого порядка от (4):

$$p(x, y) = \frac{\partial F(x, y)}{\partial x} = \frac{\beta}{\lambda y} \left(\frac{x}{\lambda y}\right)^{\beta-1} \frac{e^{-\left(\frac{x}{\lambda y}\right)^{\beta}}}{1 - e^{-\left(\frac{1}{\lambda}\right)^{\beta}}}, \quad 0 \leq x \leq y, \quad (5)$$

Выражение (5) будет определять вероятность того, что при разрушении частицы размера y получится частица, размер которой принадлежит диапазону $[x, x + \Delta x]$.

Теперь, подставляя (5) в (3), получим искомую модель:

$$\frac{\partial c(x, t)}{\partial t} = \frac{Q}{V}(c_{\text{вх}}(x) - c(x, t)) - K(x)c(x, t) + \int_x^{\infty} K(y)c(y, t) \frac{\beta}{\lambda y} \left(\frac{x}{\lambda y}\right)^{\beta-1} \frac{e^{-\left(\frac{x}{\lambda y}\right)^{\beta}}}{1 - e^{-\left(\frac{1}{\lambda}\right)^{\beta}}} dy, \quad (6)$$

С помощью пакета символьной математики Maple 2023, а также с использованием внутреннего языка программирования были получены 2 программы, которые дают геометрическую визуализацию в виде двумерных графиков на декартовой плоскости R_2 функции плотности распределения $p(x, y)$ (рис. 3), а также график функции распределения Розина-Раммлера $F(x, y)$ (рис. 4) для заданных параметров $y = 16 \cdot 10^{-3}$ м, $\lambda = 0,5$, $\beta = 3$.

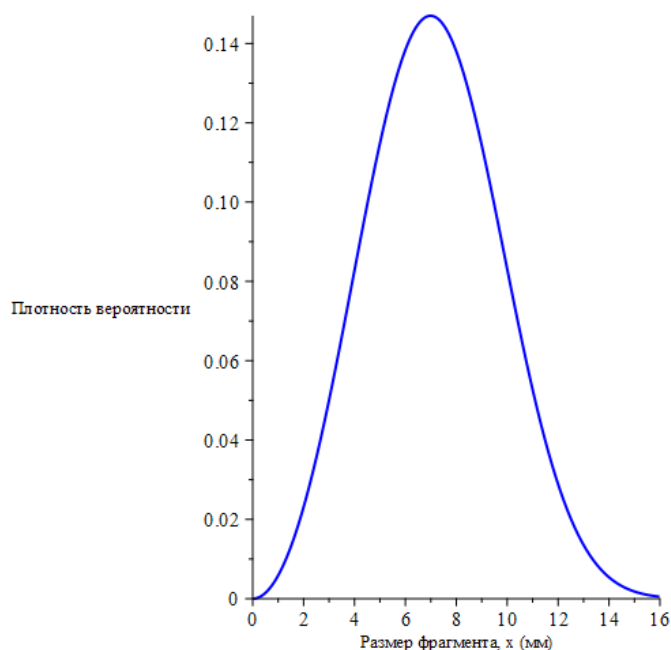


Рисунок 3. Плотность распределения частиц

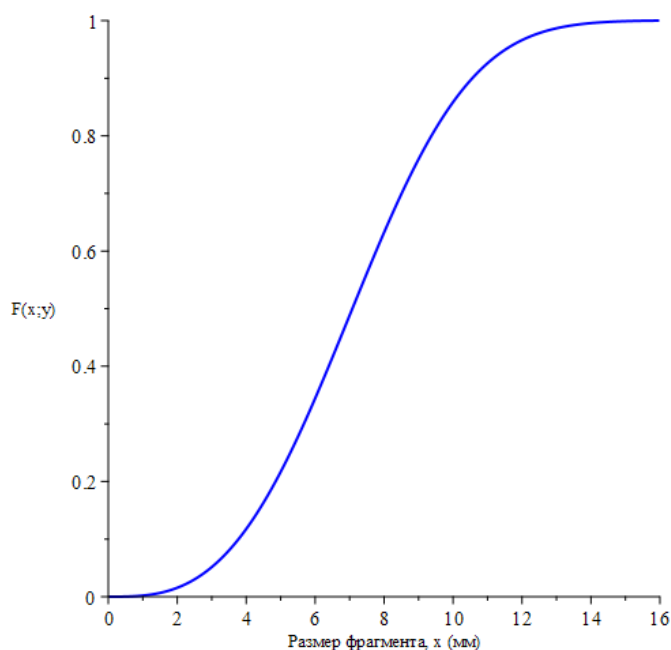


Рисунок 4. функции распределения Розина-Раммлера $F(x, y)$

Выводы

1. Исполнение бункеров в форме усеченной пирамиды будет обеспечивать равномерную загрузку зернового материала в камеру измельчения. Решета, установленные в предлагаемой конструкции с углом наклона 10° (8 мм в дробилке, 6 мм, 4 мм и 1,5 мм в калибраторе), а также совершаемые колебательные движения калибровочной камеры позволяют эффективно сортировать полученный продукт.

2. Камера измельчения, имеющая диаметр 350 мм и оснащённая ротором с шестнадцатью свободно вращающимися молотками размерами $100 \times 15 \times 10$ мм, будет обеспечивать интенсивное дробление исходного материала.

3. Применение нержавеющей пищевой стали в проектируемом аппарате (камера измельчения, молотки, загрузочный люк, желоба) обеспечит соответствие дробилки гигиени-

ческим нормам и облегчит очистку. Конструкция рамы 1300×800×1300 мм объединяет калибратор и дробилку в единое целое.

4. Синтезирована математическая модель, полученная с использованием уравнения материального баланса, учитывающая фрагментацию, позволяет описывать динамику дробления исходного зернового продукта. Использование в модели распределение Розина-Раммлера позволяет описывать распределение размеров частиц и дает возможность предсказывать наиболее вероятный их размер, а также оценить влияние технологических параметров на конечное распределение.

5. Полученные графические интерпретации - плотности распределения частиц и функции распределения Розина-Раммлера иллюстрируют, как происходит дробление, а также сортировка материала в зависимости от времени.

Список источников

1. Автоматические установки для производства комбикормов в хозяйствах / В.И. Сыроватка, Н.В. Жданова, А.С. Дорохов, А.Д. Обухов // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 2. С. 66-71.
2. Аспекты биотехнической оценки эффективности технологических процессов в животноводстве / Ю.Б. Курков, Е.И. Решетник, Л.И. Перепелкина, А.В. Бурмага // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2024. № 5(109). С. 169-175.
3. Вендин С.В., Саенко Ю.В., Семернина М.А. Дробилка для зерна с комбинированной дробильной камерой // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2021. № 1(29). С. 27-39.
4. Власов А.Б., Юрина Н.А., Петенко А.И. Использование антисептической добавки при выращивании цыплят на мясо // Новости науки в АПК. 2019. № 3(12). С. 164-166.
5. Голубев Д.Н., Шуханов С.Н., Косарева А.В. Некоторые аспекты теории процесса измельчения кормов // Вестник АГАТУ. 2023. № 4(12). С. 84-91.
6. Конструктивные характеристики дробилок, достоинства и недостатки / В.М. Брыгин, Г.С. Юнусов, Н.В. Януков, Л.О. Пояркова // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2020. № 22. С. 544-548.
7. Разработка двухстадийной дробилки зерна / В. Н. Трубников, Н. В. Коняев, Б. С. Блинков, М. В. Журавлев // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2016. № 1(67). С. 21-24.
8. Результаты оценки показателей работы молотковой дробилки ДКР-1 / С.Ю. Булатов, В. Н. Нечаев, А. Г. Сергеев, А. Е. Шлыков // Вестник НГИЭИ. 2024. № 12(163). С. 7-23.
9. Сабиев У.К., Пушкарев А.С. Сравнительный анализ устройств для измельчения зерновых материалов // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2016. № 1(21). С. 221-226.
10. Савиных П.А., Турубанов Н.В. Влияние изменения технологических параметров смесителя комбикормов на показатели его работы // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. Т. 23. № 5. С. 732-739.
11. Шаронова Т.В., Белов Е.Л., Акулова Т.Н. Изучение свойств комбикормов для последующего воздействия на них физическими факторами // Вестник Чувашского государственного аграрного университета. 2022. № 1(20). С. 110-114.

References

1. Automatic installations for the production of compound feeds in farms. V.I. Syrovatka, N.V. Zhdanova, A.S. Dorokhov, A.D. Obukhov. Bulletin of Russian Agricultural Science, 2020, no. 2, pp. 66-71.
2. Aspects of biotechnical assessment of the effectiveness of technological processes in animal husbandry. Yu.B. Kurkov, E.I. Reshetnik, L.I. Perepelkina, A.V. Burmaga. Proceedings of the Orenburg State Agrarian University, 2024, no. 5(109), pp. 169-175.
3. Vendin S.V., Saenko Yu.V., Semernina M.A. Grain crusher with a combined crushing chamber. Innovations in agriculture: problems and prospects, 2021, no. 1(29), pp. 27-39.

4. Vlasov A.B., Yurina N.A., Petenko A.I. The use of antiseptic additives in the cultivation of chickens for meat. News of science in agriculture, 2019, no. 3(12), pp. 164-166.
5. Golubev D.N., Shukhanov S.N., Kosareva A.V. Some aspects of the theory of the feed grinding process. Bulletin of ASATU, 2023, no. 4(12), pp. 84-91.
6. Design characteristics of crushers, advantages and disadvantages. V.M. Prygin, G.S. Yunusov, N.V. Yanukov, L.O. Poyarkova. Current issues of improving the technology of production and processing of agricultural products, 2020, no. 22, pp. 544-548.
7. Development of a two-stage grain crusher. V.N. Trubnikov, N.V. Konyaev, B.S. Blinkov, M.V. Zhuravlev. Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies, 2016, no. 1(67), pp. 21-24.
8. Results of the evaluation of the performance of the DKR-1 hammer crusher. S.Yu. Bulatov, V.N. Nechaev, A.G. Sergeev, A.E. Shlykov. Bulletin of NSIEI, 2024, no. 12(163), pp. 7-23.
9. Sabiev U.K., Pushkarev A.S. Comparative analysis of devices for grinding grain materials. Bulletin of Omsk State Agrarian University, 2016, no. 1(21), pp. 221-226.
10. Savinykh P.A., Turubanov N.V. The influence of changes in the technological parameters of a compound feed mixer on its performance. Agrarian Science of the Euro-North-East, 2022, vol. 23, no. 5, pp. 732-739.
11. Sharonova T.V., Belov E.L., Akulova T.N. Studying the properties of compound feeds for subsequent exposure to physical factors. Bulletin of the Chuvash State Agrarian University, 2022, no. 1(20), pp. 110-114.

Информация об авторах

С.С. Бунеев – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры агроинженерии, мехатронных и радиоэлектронных систем;

С.Ю. Шубкин – кандидат технических наук, доцент, и.о. директора института агробиотехнологий и технических систем;

А.В. Клапп – старший преподаватель кафедры агроинженерии, мехатронных и радиоэлектронных систем;

Е.С. Чудинов – обучающийся института агробиотехнологий и технических систем.

Information about the authors

S.S. Buneev – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Agroengineering, Mechatronics and Radioelectronic Systems;

S.Yu. Shubkin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Acting Director of the Institute of Agrobiotechnology and Technical Systems;

A.V. Klapp – Senior lecturer at the Department of Agroengineering, Mechatronics and Radioelectronic Systems;

E.S. Chudinov – Student at the Institute of Agrobiotechnology and Technical Systems.

Научная статья

УДК 664.8.9

DOI 10.24888/2541-7835-2025-35-1-115-126

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ РАСТИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА В ПРОЦЕССЕ СУШКИ

**Завражнов Анатолий Иванович¹, Родионов Юрий Викторович²,
Рыбин Григорий Вячеславович³, Зорина Ольга Александровна⁴,
Брыксина Кристина Вячеславовна⁵, Матвеев Дмитрий Александрович⁶**

¹Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Россия

^{2,3,4,5,6}Мичуринский государственный аграрный университет, Тамбовская обл.,

Мичуринск, Россия

¹aiz@mgau.ru

²rodionow.u.w@rambler.ru

³enot1237@gmail.com

⁴Zorin619@bk.ru

⁵kristina.bryksina91@mail.ru

⁶enot1237@gmail.com

Аннотация. Целью статьи являлось определение оптимального режима двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушки растительного материала, не имеющего ярко выраженный первый период. Для двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушки, являющейся перспективным направлением переработки растительного сырья, критически важным с точки зрения эффективности работы является закладка материала на досушку в вакуумный шкаф не ранее чем по окончании первого периода, который характеризуется удалением поверхностной влаги и неизменной температурой материала в процессе, которая не зависит от температуры теплоносителя, а определяется температурой смоченного термометра. Во втором же периоде температура материала достигает температуры теплоносителя. Подавляющее большинство растительных материалов имеют коллоидную капиллярно-пористую структуру, для которой и характерна двухпериодная картина сушки. Однако есть ряд материалов, которые показывают отличную температурную динамику. В результате экспериментальных исследований, проводимых на яблоках сорта «Синап», листьях свёклы столовой сорта «Мулатка» и редиса сорта «Заря» установлено, что в отличие от яблок, показывающих характерную картину сушки, в которой температура материала не изменяется в течение определённого промежутка времени, после чего достигает температуры теплоносителя, листья свёклы и редиса в течение малого начального промежутка времени нагревались до температуры, на несколько градусов ниже температуры теплоносителя, после чего в процессе сушки температура материала плавно повышалась, приближаясь к температуре теплоносителя, что характерно для сушки коллоидных тел. Для материалов с изменяющейся температурой предложен термин «условный первый период», определяемый окончанием режима равномерной влагопотери. Это позволит наиболее эффективно производить двухступенчатую вакуумную сушку растительных материалов с максимальной экономической энергоэффективностью, а также минимальной потерей биологически активных веществ. На основании экспериментальных данных проведены теоретические исследования и разработана новая энергоэффективная конструкция двухступенчатой комбинированной вакуум-импульсной сушилки, содержащей теплоаккумуляторы.

Ключевые слова: растительный материал, коллоидные капиллярно-пористые тела, температура, двухступенчатая комбинированная вакуумно-импульсная сушка

Для цитирования: Изменение температуры растительного материала в процессе сушки / А.И. Завражнов, Ю.В. Родионов, Г.В. Рыбин, О.А. Зорина, К.В. Брыксина, Д.А. Матвеев // Агропромышленные технологии Центральной России. 2025. № 1(35). С. 115-126. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2025-35-1-115-126>.

Original article

CHANGE IN THE TEMPERATURE OF PLANT MATERIAL DURING DRYING

Anatoly I. Zavrazhnov¹, Yuri V. Rodionov², Grigory V. Rybin³✉, Olga A. Zorina⁴,
Kristina V. Bryksina⁵, Dmitry A. Matveev⁶

¹Tambov State Technical University, Tambov, Russia

^{2,3,4,5,6}Michurinsk State Agrarian University, Tambov Region, Michurinsk, Russia

¹aiz@mgau.ru

²rodionow.u.w@rambler.ru

³enot1237@gmail.com✉

⁴Zorin619@bk.ru

⁵kristina.bryksina91@mail.ru

⁶enot1237@gmail.com

Abstract. The purpose of the article was to determine the optimal regime of a two-stage convective vacuum-pulse drying of plant material, which has no pronounced first period. For a two-stage convective-vacuo-pulse drying, which is a promising direction of processing of plant materials, critical from the point of view of the efficiency of work is the laying of the material on leisure in the vacuum cabinet no earlier than at the end of the first period, which is characterized by the removal of surface moisture and the unchanged material temperature in the process, which does not depend on the temperature of the coolant, but is determined by the temperature of the moistened thermometer. In the second period, the temperature of the material reaches the temperature of the coolant. The vast majority of plant materials have a colloidal capricious-porous structure, which is characterized by a two-periody of drying. However, there are a number of materials that show excellent temperature dynamics. As a result of experimental studies conducted on apples, the Sinap varieties, the leaves of the dining room “mulatto” and the radish of the “dawn” are found that, unlike apples showing the characteristic picture of drying, in which the temperature of the material does not change within a certain period of time After which the coolant temperature reaches the beets and radishes for a small initial period of time heated to temperature, several degrees below the temperature of the coolant after that during the drying process the temperature of the material smoothly increased by approaching the temperature of the coolant, which is characteristic of drying of colloidal bodies. For materials with a changing temperature, the term “conditional first period” is proposed by the end of the regime of uniform moisture loss. This will make it possible to produce two -stage vacuum drying of plant materials with maximum economic and energy efficiency, as well as the minimum loss of biologically active substances. Based on the experimental data, theoretical studies were conducted and a new energy-efficient design of a two-stage convective-vacuo-pulse dryer containing heat accumulators was developed.

Keywords: plant material, colloidal capillary-porous bodies, temperature, two-stage combined vacuum-pulse drying

For citation: Change in the temperature of plant material during drying. A.I. Zavrazhnov, Yu.V. Rodionov, G.V. Rybin, O.A. Zorina, K.V. Bryksina, D.A. Matveev. Agro-industrial technologies of Central Russia, 2025, no. 1(35), pp. 115-126. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2025-35-1-115-126>.

Введение

Сушка растительного материала является одним из центральных процессов при его переработке с целью максимально эффективного хранения и дальнейшего использования. При этом важнейшей задачей является максимальное сохранение биологически активных веществ (БАВ), содержащихся в сырье, поскольку это напрямую определяет его пищевую и экономическую ценность [3,7,13]. Согласно классификации влажных веществ, растительные материалы относятся к коллоидным капиллярно-пористым телам (рис. 1) [14]. Это определяет их динамику сушки, которую условно можно разделить на два периода, в первом из которых происходит удаление влаги с постоянной скоростью при неизменной температуре материала, равной температуре смоченного термометра психрометрического гигрометра. В начале второго периода температура материала увеличивается, достигая температуры теплоносителя, а скорость сушки постепенно замедляется.

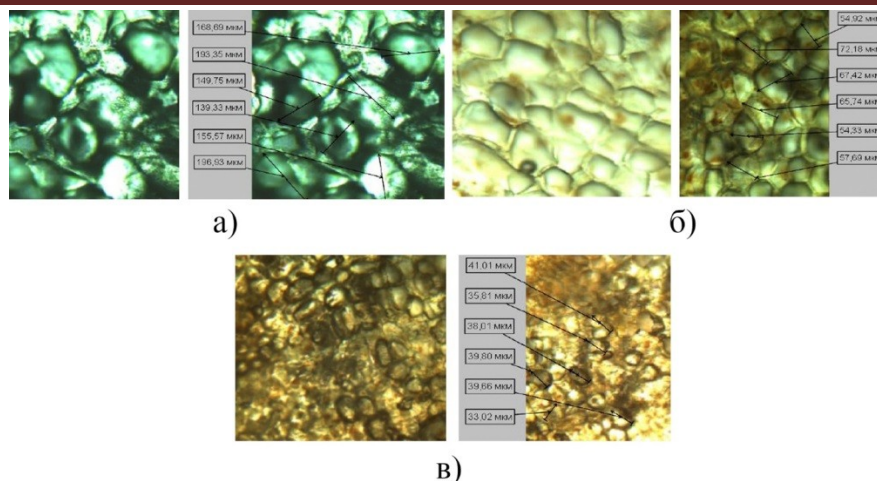


Рисунок 1. Капиллярно-пористая клеточная структура растительной ткани:
а) яблоко сорт «Антоновка», б) тыква сорт «Волжская серия 92», в) морковь сорт «Витаминная»

Значительная часть функциональных компонентов в растительном материале разлагается под воздействием высокой температуры, поэтому для их сохранения при сушке устанавливают верхний порог температуры теплоносителя и нагрева материала, который определяется максимальной температурой устойчивого существования термолабильных компонентов [2,9]. Однако это значительно увеличивает продолжительность процесса, что приводит к окислению БАВ и их потере. Поэтому основными критериями при разработке технологий и оборудования для сушки растительного материала является максимальная скорость при минимальной температуре.

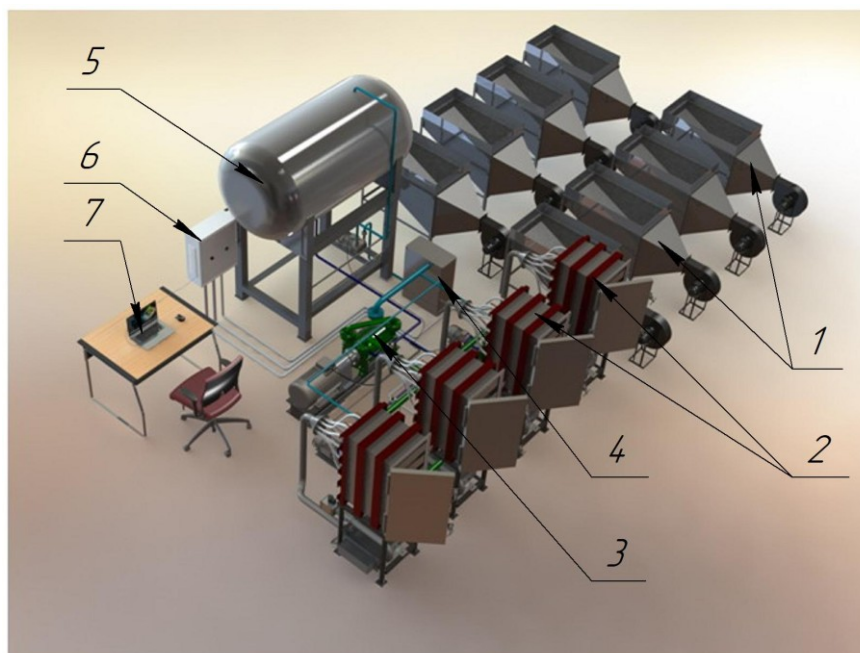


Рисунок 2. 3D-модель двухступенчатой конвективно-вакуум-импульсной сушилki:
1 – лотки первой ступени, 2 – шкафы второй ступени, 3 – ЖВН, 4 – чиллер, 5 – ресивер, 6 – шкаф автоматики, 7 – центр управления.

Описанным принципам соответствует двухступенчатая конвективная вакуум-импульсная сушилka (рис. 2) [1, 2, 5, 6, 11], которая содержит первую ступень, выполненную в виде лотковых сушилок и вторую – в виде вакуумных шкафов, при конвективном подводе газообразного теплоносителя на обеих ступенях. Такая компоновка обусловлена тем, что использование вакуума является затратным и нецелесообразным в первом периоде, поскольку

происходит удаление поверхностной влаги, и наличие разрежения не даёт выигрыша в скорости процесса. Напротив, во втором периоде, когда происходит перераспределение внутренней влаги к поверхности материала, низкотемпературное кипение жидкости приводит к значительному ускорению процесса без потери БАВ.

Стоит отметить, что различные виды растительного материала (плоды, ягоды, листья, стебли, корнеклубнеплоды и т.д.) имеют разную динамику сушки, что не позволяет применять известные законы напрямую для всего растительного материала в целом. Также установлено, что ряд растительных материалов не имеет ярко выраженного первого периода, поэтому неочевидным является время сушки, после которого наиболее эффективным является использование вакуумной ступени [8].

Определение оптимальных температурных режимов сушки растительного сырья является актуальной задачей, решение которой позволит получить максимальную эффективность процесса в сочетании с минимальной потерей термолабильных биологически активных веществ.

Цель исследования – определение оптимального режима двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушки растительного материала, не имеющего ярко выраженный первый период.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в октябре-ноябре 2024 на базе ЦКП «Селекция сельскохозяйственных культур и технологии производства, хранения и переработки продукции функционального и лечебно-профилактического назначения» НОЦ ТГТУ-МичГАУ «Экотехнолонии им. Ю.Г. Скрипникова».

Проводилась сушка растительного материала на описанной лотковой конвективной сушилке следующим образом. Исследуемый материал определённым образом измельчался и помещался на лоток конвективной сушилки. Устанавливались температура и скорость теплоносителя. Температура теплоносителя выбиралась в соответствии с максимальной температурой, при которой не разлагаются термолабильные компоненты, содержащиеся в сырье. Температура теплоносителя и материала контролировалась при помощи термопар и системы автоматики, включающей блок преобразования сигналов, блок управления нагревателями и SCADA систему для установки заданных параметров и управления системой. Скорость теплоносителя устанавливалась посредством изменения положения заслонки на входе вентилятора и контролировалась при помощи анемометра крыльчатого У5 (ГОСТ 6376-74). Для используемых материалов заранее было установлено время, требуемое для достижения влажности необходимой для хранения при установленных условиях сушки посредством контроля массы через равные промежутки. После чего в течение установленного времени проводилась сушка с контролем температуры материала.

Исследовались яблоки сорта «Синап», нарезанные кубиками со стороной $5 \pm 0,5$ мм и листья свеклы столовой сорта «Мулатка» и редиса сорта «Заря» нарезанные соломкой толщиной $5 \pm 0,5$ мм. Температура теплоносителя составляла $60 \pm 3^\circ\text{C}$, скорость теплоносителя 1,5 м/с.

Подбор материала обоснован интересом в изучении динамики сушки листьев в сравнении с плодами, процесс сушки которых подробно исследован и соответствует двухпериодному режиму. Однако здесь стоит отметить, что известны сорта яблок, для которых первый период ярко не выражен.

Результаты исследований и их обсуждение

На основании полученных результатов были построены графики зависимости температуры материала от времени сушки при неизменных начальных условиях (рис. 3-5).

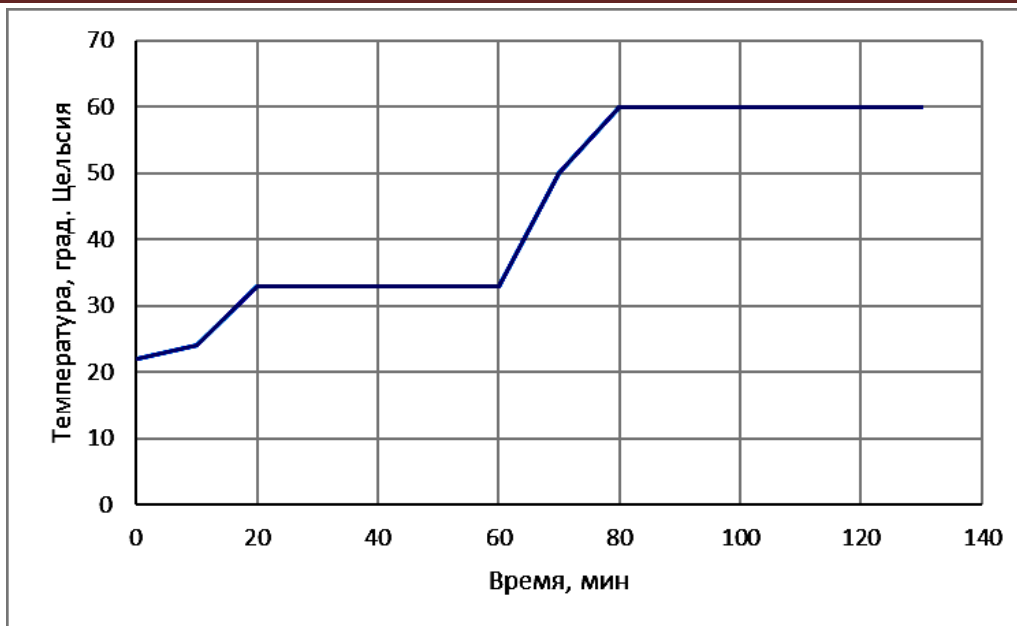


Рисунок 3. График зависимости температуры мякоти яблок сорта «Синап» от времени

Анализ полученных данных показывает, что в отличие от классической для коллоидных капиллярно-пористых тел двухпериодной картины сушки, которую показывает мякоть яблок, листья не имеют ярко выраженного первого периода и в начальный короткий промежуток времени имеют резкий подъём температуры до температуры на несколько градусов ниже температуры теплоносителя, после чего плавно приближаются к температуре теплоносителя. По Лыкову такая картина характерна для коллоидных тел. При этом в таком случае не ясно в какой момент материал целесообразно перемещать в вакуумную камеру.

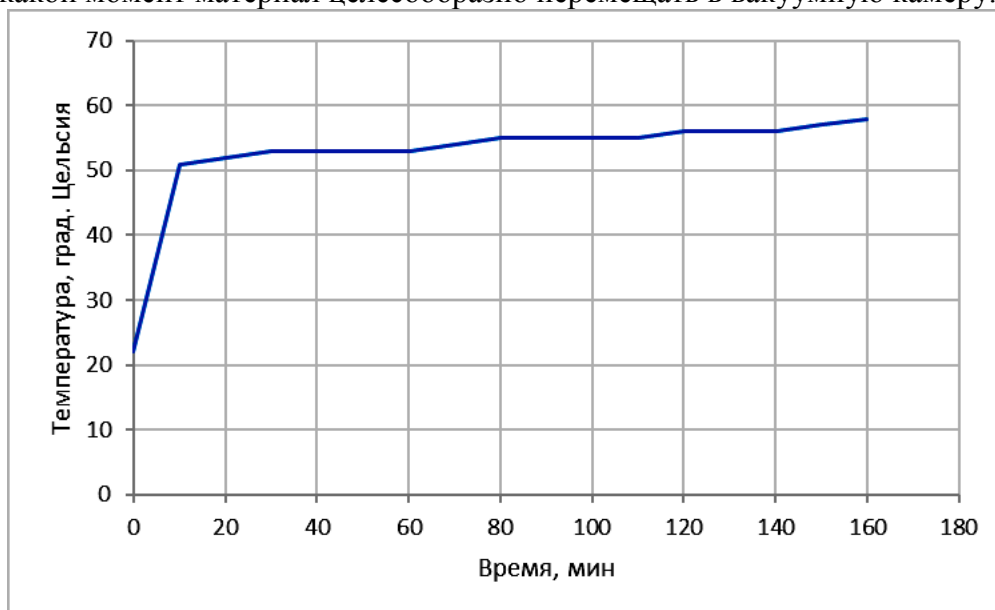


Рисунок 4. График зависимости температуры листьев свёклы сорта «Мулатка» от времени

Для решения этой проблемы предлагается определить «условный первый период», который характеризуется не температурой материала в процессе, а динамикой влагопотери. Таким образом, перемещать материал в вакуумный шкаф в таком случае необходимо, когда скорость сушки начинает замедляться.

При этом стоит отметить, что при сушке материалов с явным первым периодом на первом этапе температуру теплоносителя можно устанавливать значительно выше температуры денатурации БАВ поскольку материал всё равно не нагреется выше температуры мокрого термометра. При сушке материалов с неявным первым периодом это не допускается, по-

скольку на начальном этапе материал нагреется до температуры близкой температуры теплоносителя, в связи с чем будет происходить разрушение функциональных компонентов.

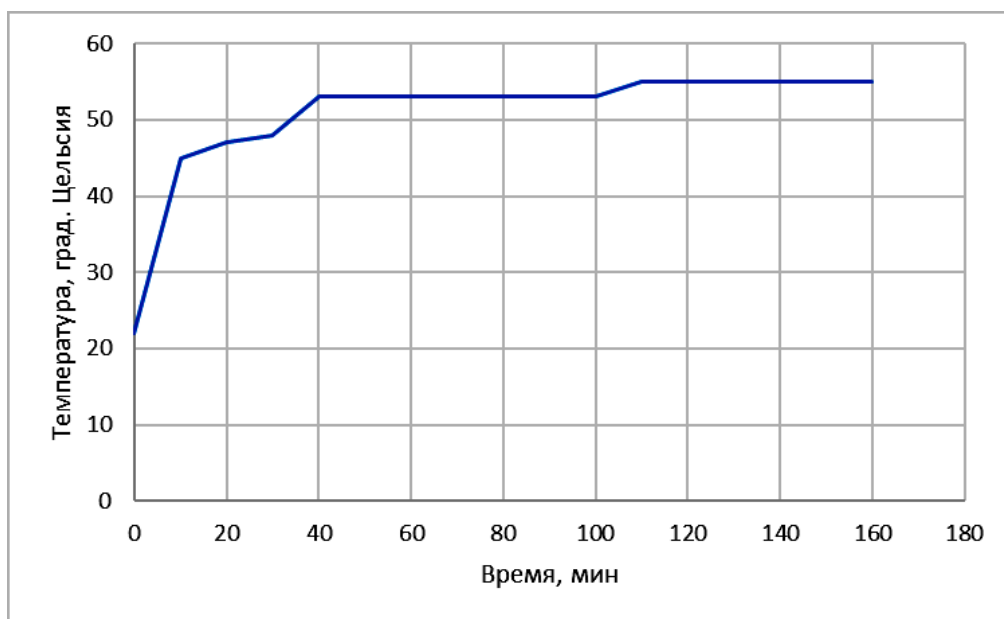


Рисунок 5. График зависимости температуры листьев редиса сорта «Заря» от времени

В периоде постоянной скорости в конвективной сушилке эффективность сушки определяется интенсивностью испарения воды со свободной поверхности:

$$q_n = \alpha_q (t_c - t_n) = Nu_q \frac{\lambda_g}{l} (t_c - t_n), \quad (1)$$

$$j_n = \alpha_p (p_n - p_c) = Nu_m \frac{D_p}{l} (p_n - p_c), \quad (2)$$

где λ_g – коэффициент теплопроводности влажного воздуха, Вт/м·К; D_p – коэффициент диффузии пара в воздухе, отнесенный к разности давлений м²/с; l – длина поверхности тела вдоль потока газа; индексы «п» и «с» обозначают поверхность тела и окружающую среду, см; Nu_q и Nu_m – числа, которые вычисляются по формулам тепло- и массообмена; t – температура поверхности тела, °С; p – парциальное давление поверхности материала; j_n – зависимость между интенсивностью сушки, г/м²·ч; q_n – плотность потока тела; α_q и α_p – коэффициенты конвективного и лучистого теплообмена, Вт/м²·К.

Коэффициент диффузии пара при испарении из различных растительных материалов в воздухе, отнесенный к разности давлений подлежит дальнейшему экспериментальному исследованию.

Числа Нуссельта определяющие тепло- и массообмен находим по формуле А.В. Нестеренко:

$$Nu = \frac{al}{\lambda}, \quad (3)$$

где a – коэффициент теплоотдачи, ккал/м².

Интенсивность сушки обратно пропорциональна l^{1-n} , где n – показатель степени у числа Re. Следует отметить, что чем больше длина образца растительного материала в направлении потока, тем меньше интенсивность сушки.

В условиях конвекции числа Nu_m и Nu_q считаем с использованием формулы внешнего тепло- и массообмена. При естественной конвекции при одинаковом режиме интенсивность сушки обратно пропорциональна длине определяющего размера в степени 0,25, т.е.

$$j_n = \frac{const}{l^{0,25}}, \quad (4)$$

Поэтому чем больше l , тем меньше интенсивность.

Следовательно, наиболее целесообразно перед сушкой материал разделять на кубические или шарообразные фрагменты, если это позволяет изначальная форма сырья.

Итак, формулы (1) и (2) справедливы при обтекании плоских тел потоком воздуха, т.е. при конвективной сушке. При сушке материала различной формы для вычисления тепло- и массообменных чисел Нуссельта используем формулу О. Кришера, где между числами $(Nu_{l'})_m$ и $(Nu_{l'})_q$ существует прямая пропорциональность:

$$(Nu_{l'})_q = (Nu_{l'})_m N_p, \quad (5)$$

где N_p – поправочный коэффициент.

В соответствии с формулами (1) и (2) для расчета q_n и j_n необходимо знать температуру поверхности растительного тела t_n , так как парциальное давление паро-газовой смеси поверхности материала p_n , равно давлению насыщенного пара при температуре t_n , последнее является однозначной функцией температуры t_n .

Температура материала в первом периоде сушки изменяется линейно по его толщине. Во время стадии равномерной сушки скорость процесса и теплообмена зависят от разницы частичного давления, а также от заданного градиента температур.

Проще всего определить скорость сушки N , для чего необходимо знать температуру поверхности тела и режимные параметры окружающей среды. Массообменный критерий Кирпичева для периода постоянной скорости сушки будет равен:

$$Ki_{m0} = \frac{R_v^2 N}{a_m W_0}, \quad (6)$$

где R_v – отношение объема к поверхности, кг/м³; N – скорость сушки, ч, мин., с; Ki_{m0} – критерий периода для постоянной скорости, ч, мин., с; a – коэффициент температуропроводности влажного тела, Вт/м·К.

Вакуум-импульсное воздействие на материал во время сушки, то есть резкая организация вакуума за определённый минимальный временной промежуток τ оказывает значительный эффект на продолжительность процесса. При этом одновременная организация вакуума во всей камере требует вакуумного насоса высокой производительности (быстроты действия), что сопряжено с высокими материальными энергозатратами. Поэтому целесообразно производить вакуум-импульсное воздействие в предварительной ёмкости или одном корпусе, многокорпусного шкафа.

В этом случае время импульса τ (с) для отдельной ёмкости определяем по формуле (7), для одного корпуса по формуле (8) [4]:

$$\tau = \frac{V_{д.е.}}{S_d} \cdot \ln \frac{p_0}{p_k}, \quad (7)$$

где S_d – быстрота действия (производительность) вакуумного насоса, м³/с; p_0 – начальное давление воздуха в вакуумной камере, кПа; p_k – рабочее давление разрежения, организуемое вакуумным насосом в вакуумной камере, кПа; $V_{д.е.}$ – объём дополнительной ёмкости, равной ёмкости лотка, м³.

Для многокорпусной сушилки:

$$\tau = \frac{V_{о.к.}}{S_d} \cdot \ln \frac{p_0}{p_k}, \quad (8)$$

где $V_{о.к.}$ – объём одного корпуса, м³.

Такая конфигурация позволяет организовывать вакуум-импульсное воздействие на материал продолжительностью 0,05 с при минимальных затратах энергии на организацию вакуума.

При организации комбинированного нагрева посредством дополнительной подачи тепла через влагоизолированные поверхности посредством теплоаккумулятора, который позволяет сохранять энергию и минимизировать теплопотери через корпус сушилки, расчет температуры открытой поверхности материала можно выполнить, используя основное балансовое уравнение тепла. Например, для случая сушки растительного материала в цельном лотке, температура которого равна t_1 , балансовое уравнение можно записать как:

$$r\alpha_p(p_n - p_c) = \alpha_q(t_c - t_n) + \frac{\lambda_m}{R}(t_1 - t_n), \quad (9)$$

где R – толщина слоя; λ_m – коэффициент теплопроводности слоя материала, Вт/м·К; r – удельная теплота испарения, Дж/кг.

На основании проведённых экспериментальных и теоретических исследований разработана инновационная конструкция двухступенчатой комбинированной вакуум-импульсной сушилки (рис. 6).

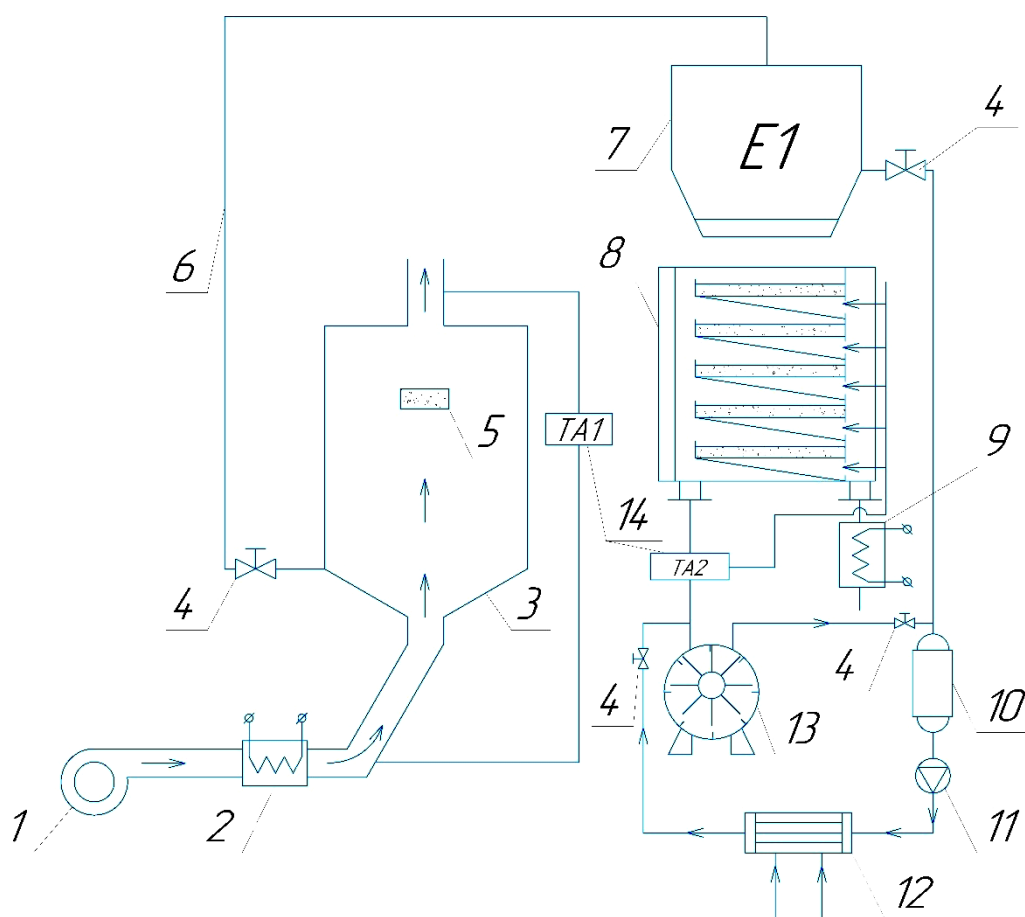


Рисунок 6. Технологическая схема предлагаемой двухступенчатой конвективно-вакуум-импульсной сушилки:

- 1 – воздуходувка, 2 – электронагреватель первой ступени, 3 – корпус первой ступени, 4 – краны, 5 – высушиваемый материал, 6 – трубопровод пневмотранспортной системы, 7 – фильтр-циклон, 8 – корпус второй ступени, 9 – электронагреватель второй ступени, 10 – разделитель, 11 – водяной насос, 12 – чиллер, 13 – ЖВН

Предлагаемая сушильная установка работает следующим образом: воздуходувка 1 прогоняет воздух через электронагреватель 2 и нагнетает его в корпус первой ступени 3, в котором находится высушиваемый материал 5. На первом этапе происходит сушка во взвешенном слое. Поле его окончания запускается жидкостнокольцевой вакуумный насос (ЖВН) 13, который и при помощи крана 4 корпус первой ступени соединяется с трубопроводом пневмотранспортной системы 6, благодаря чему материал перемещается в фильтр циклон 8, на нижней поверхности которого смонтирована автоматическая заслонка. С её помощью осуществляется дозированное распределение высушиваемого материала по лоткам, установленным в корпусе второй ступени 8. Это удаётся реализовать благодаря съёмной верхней крышке корпуса второй ступени 8, которая по окончании дозирования закрывается. Далее происходит вакуумная сушка с периодической продувкой воздухом, нагреваемым в электронагревателе второй ступени 9.

Система организации вакуума состоит из ЖВН 13, рабочая жидкость которого, выходя из насоса, попадает в разделитель 10, где газожидкостная смесь разделяется на фазы. Рабочая жидкость насосом 11 подаётся в чиллер 12, где охлаждается и затем возвращается в ЖВН 13.

Сушилка оборудована теплоаккумуляторами 14, которые позволяют значительно экономить энергию за счёт снижения потерь теплоты рабочего тела [10,12].

Выводы

1. На основании проведённых экспериментальных исследований доказано, что не все растительные материалы имеют ярко выраженный период сушки, в котором в течение определённого продолжительного промежутка температура материала не изменяется. В частности, определено, что для листьев свёклы столовой сорта «Мулатка» и редиса сорта «Заря» температура в течение первых 10 минут сушки доходит до определённого значения, близкого к температуре теплоносителя и далее плавно повышается.

2. Таким образом, для двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушки растительного материала предложено осуществлять контроль окончания первого периода по скорости влагопотери, а не по температуре материала и, соответственно, перемещать материал в вакуумный шкаф при снижении скорости отдачи влаги. Это позволит производить сушку наиболее эффективно с минимальными потерями функциональных компонентов и энергии.

3. На базе экспериментальных исследований разработана инновационная конструкция двухступенчатой конвективной вакуум-импульсной сушилки с внедрением тепловых аккумуляторов и усовершенствована методика расчёта технологических параметров. Разработанная конструкция, а также методика контроля динамики влагоудаления при сушке растительного материала позволит сократить продолжительность процесса в 1,5-2 раза, затраты энергии до 30%.

Список источников

1. Блинникова О.М. Использование сушеных ягод жимолости для обогащения пищевых продуктов // Импортзамещающие технологии и оборудование для глубокой комплексной переработки сельскохозяйственного сырья: Материалы Всероссийской конференции с международным участием (г. Тамбов, 24-25 мая 2019 г.). Тамбов: Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ». 2019. С. 375-381.

2. Вакуумные технологии и оборудование для переработки продукции садоводства / Д. В. Никитин, Ю. В. Родионов, С. И. Данилин, Г. В. Рыбин // Роль науки в развитии современного садоводства России, Мичуринск-научоград РФ, 15-16 сентября 2022 года. Мичуринск: Б. и., 2022. С. 123-125.

3. Вакуумные технологии производства порошков и экстрактов из овощей, плодов и ягод для функциональных продуктов питания / Ю. В. Родионов, Д. В. Никитин, О. А. Зорина [и др.] // Наука в центральной России. 2023. № 1(61). С. 55-65.

4. Жидкостнокольцевые вакуумные насосы комбинированного типа для энергоэффективных технологических процессов переработки растительного сырья / Ю. В. Родионов, Д. В. Никитин, Г. В. Рыбин [и др.] // Наука в центральной России. 2023. № 6(66). С. 7-16.
5. Зорин А.С. Совершенствование технологии и технических средств комбинированной вакуумной сушки растительного сырья для производства чипсов: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. Тамбов, 2019. С. 156.
6. Иванова И. В., Родионов Ю. В. Двухступенчатая комбинированная сушка сельскохозяйственных продуктов // Наука и Образование. 2021. Т. 4. № 4.
7. Кох Д. А., Кох Ж. А. Совершенствование способа производства гомогенной яблочной пасты из плодов мелкоплодных яблонь // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2024. № 1(395). С. 34-37.
8. Кузьменко С. Л., Данилин С. И., Родионов Ю. В. Особенности переработки очитка пурпурного (*sedum purpureum* L.) для использования в производстве функциональных напитков // Инновационные технологии в АПК : материалы Международной научно-практической конференции, Мичуринск, 21-23 ноября 2018 года. Общ. ред. В.А. Бабушкин. Мичуринск: Мичуринский государственный аграрный университет, 2018. С. 173-177.
9. Курочкин А. А., Новикова О. А., Юрьев В. Ю. К вопросу термовакuumного экструдирования многокомпонентного сырья растительного происхождения // Инновационная техника и технология. 2024. Т. 11. № 2. С. 15-20.
10. Патент № 2716056 С1 Российская Федерация, МПК F26B 17/10, F26B 5/04. Энергоэффективная конвективно-вакуум-импульсная сушильная установка с тепловыми аккумуляторами: № 2019106971 : заявл. 13.03.2019 : опубл. 06.03.2020 / А. С. Зорин, И. В. Иванова, Д. В. Никитин [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»).
11. Перфилова О.В. Переработка вторичного фруктово-овощного сырья с использованием электрофизических методов: расширение ресурсного потенциала и ассортимента продуктов повышенной пищевой ценности, разработка инновационных технологических решений: автореферат на соискание ученой степени доктора технических наук: 05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства. Воронеж, 2019. 39 с.
12. Применение наномодифицированных теплоаккумулирующих материалов в системах сушки растительного сырья / Ю. В. Родионов, А. В. Щегольков, Д. В. Никитин, А. С. Зорин // Наука в центральной России. 2020. № 1(43). С. 43-50.
13. Ресурсосберегающая технология переработки яблок / О.В. Перфилова, В.А. Бабушкин, В.В. Ананских, А.В. Польшкова, Г.О. Магомедов, М.Г. Магомедов // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2017. № 6 (20). С. 21-28.
14. Рудобашта С.П., Дмитриев В.М. Экспериментальное исследование процесса конвективной сушки нарезанных яблок // Импортозамещающие технологии и оборудование для глубокой комплексной переработки сельскохозяйственного сырья: материалы I Всероссийской конференции с международным участием. 2019. С. 276-281.

References

1. Blinnikova O.M. The use of dried honeysuckle berries for fortification of food products. Import-substituting technologies and equipment for deep complex processing of agricultural raw materials: Proceedings of the All-Russian Conference with international participation (Tambov, May 24-25, 2019). Tambov: Publishing Center FSBEI HE «TSTU», 2019. Pp. 375-381.
2. Vacuum technologies and equipment for processing horticultural products. D. V. Nikitin, Yu.V. Rodionov, S. I. Danilin, G. V. Rybin. The role of science in the development of modern horticulture in Russia, Michurinsk-naukograd RF, September 15-16, 2022. Michurinsk: B. I., 2022. Pp. 123-125.

3. Vacuum technologies for the production of powders and extracts from vegetables, fruits and berries for functional foods. Yu. V. Rodionov, D. V. Nikitin, O. A. Zorina [et al.]. Science in Central Russia, 2023, no. 1(61), pp. 55-65.
4. Rodionov Yu.V., Nikitin D. V., Rybin G. V. Liquid ring vacuum pumps of a combined type for energy-efficient technological processes of processing plant raw materials [et al.]. Science in central Russia, 2023, no. 6(66), pp. 7-16.
5. Zorin A.S. Improvement of technology and technical means of combined vacuum drying of vegetable raw materials for the production of chips: dis. ... Candidate of Technical Sciences: 05.20.01. Tambov, 2019. P. 156.
6. Ivanova I. V., Rodionov Yu. V. Two-stage combined drying of agricultural products. Science and Education, 2021, vol. 4, no. 4.
7. Koch D. A., Koch Zh. A. Improving the production method of homogeneous apple paste from the fruits of small-fruited apple trees. News of higher educational institutions. Food technology, 2024, no. 1(395), pp. 34-37.
8. Kuzmenko S. L., Danilin S. I., Rodionov Yu.V. Features of processing of purple ochre (sedumpurpleuml.) for use in the production of functional headings. Innovative technologies in agriculture : proceedings of the International Scientific and Practical Conference, Michurinsk, November 21-23, 2018. General ed. by V.A. Babushkin. Michurinsk: Michurinsk State Agrarian University, 2018. Pp. 173-177.
9. Kurochkin A. A., Novikova O. A., Yuryev V. Yu. On the issue of thermovacuum extrusion of multicomponent raw materials of plant origin. Innovative machinery and technology, 2024, vol. 11, no. 2, pp. 15-20.
10. Patent No. 2716056 C1 Russian Federation, IPC F26B 17/10, F26B 5/04. Energy-efficient convective-vacuum-pulse drying unit with thermal accumulators: No. 2019106971 : application 13.03.2019 : published 06.03.2020 / A. S. Zorin, I. V. Ivanova, D. V. Nikitin [et al.] ; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Tambov State Technical University» (FSBEI HE «TSTU»).
11. Perfilova O.V. Processing of secondary fruit and vegetable raw materials using electro-physical methods: expanding the resource potential and range of products with increased nutritional value, developing innovative technological solutions: abstract for the degree of Doctor of Technical Sciences: 05.18.01 – Technology of processing, storage and processing of cereals, legumes, cereal products, fruit and vegetable products and viticulture. Voronezh, 2019. 39 p.
12. The use of nanomodified heat storage materials in drying systems for vegetable raw materials. Yu. V. Rodionov, A.V. Shchegolkov, D. V. Nikitin, A. S. Zorin. Science in Central Russia, 2020, no. 1(43), pp. 43-50.
13. Perfilova O.V., Babushkin V.A., Ananskikh V.V., Polypkova A.V., Magomedov G.O., Magomedov M.G. Resource-saving technology of apple processing. Technologies of food and processing industry of agroindustrial complex - products of healthy nutrition, 2017, no. 6 (20), pp. 21-28.
14. Rudobashta S.P., Dmitriev V.M. Experimental study of the process of selective drying of sliced apples. Import-substituting technologies and equipment for deep complex processing of agricultural raw materials: proceedings of the I All-Russian Conference with international participation, 2019, pp. 276-281.

Информация об авторах

Завражнов А.И. – академик РАН, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник;

Родионов Ю.В. – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Механика и инженерная графика»; профессор кафедры технологии производства, хранения и переработки продукции растениеводства;

Рыбин Г.В. – аспирант, ассистент кафедры «Агроинженерия, кафедры «Механика и инженерная графика»; инженер ЦКП «Селекция сельскохозяйственных культур и техноло-

гии производства, хранения и переработки продуктов питания функционального и лечебно-профилактического назначения»;

Зорина О.А. – соискатель;

Брыксина К.В. – кандидат технических наук, технолог, ЦКП «Селекция сельскохозяйственных культур и технологии производства, хранения и переработки продуктов питания функционального и лечебно-профилактического назначения»;

Матвеев Д.А. – соискатель.

Information about the authors

Zavrazhnov A.I. – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher;

Rodionov Yu.V. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Mechanics and Engineering Graphics; Professor of the Department of Technology of Production, Storage and Processing of Crop Production;

Rybin G.V. – Postgraduate student, Assistant of the Department of Agricultural Engineering, Department of Mechanics and Engineering Graphics; Engineer of the Center for Collective Use «Crop Breeding and technologies for the production, storage and processing of functional and therapeutic food»;

Zorina O.A. – Applicant;

Bryksina E.V. – Candidate of Technical Sciences, Technologist, Center for Collective Use «Crop breeding and technologies for the production, storage and processing of functional and therapeutic food»;

Matveev D.A. – Applicant.

Научная статья

УДК 621.373:628:164

DOI 10.24888/2541-7835-2025-35-1-127-133

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОТИВОНАКИПНОГО ЭФФЕКТА В ТЕПЛООБМЕННОЙ АППАРАТУРЕ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Соколов Иван Юрьевич^{1✉}, Дарманиян Анатолий Петрович²

^{1,2}Волгоградский государственный аграрный университет, Волгоград, Россия

¹ivanfalcone@yandex.ru✉

²a.darmanyanyan@volgau.com

Аннотация. Использование природной воды в системах горячего водоснабжения сопровождается образованием на стенках оборудования накипи в виде солей карбонатов. Среди нехимических способов борьбы с накипью перспективным направлением является метод обработки воды в электромагнитном поле (ЭМП), который экологически безопасен, позволяет улучшить качество воды и повысить эффективность работы теплообменного оборудования. Многочисленные экспериментальные исследования по предотвращению накипи в теплообменном оборудовании плохо сопоставимы друг с другом ввиду различных характеристик воды и используемых приборов для создания ЭМП. В данной статье выполнено экспериментальное исследование противонакипного эффекта в процессе обработки проточной артезианской воды в трубе при воздействии переменного импульсного электромагнитного поля. Эксперименты проведены при температуре 80 °С, двух частотах ЭМП и при двух мощностях устройства «Термит». Подтвержден противонакипный эффект для проточной артезианской воды под воздействием ЭМП. На основе расчетов непараметрического критерия Манна-Уитни для всех экспериментов показано, что параметры ЭМП не оказывают существенного влияния на противонакипный эффект. Сделан вывод о том, что оптимальные условия для обработки артезианской воды в ЭМП еще не найдены.

Ключевые слова: накипь, электромагнитное поле, карбонат кальция, теплообменная аппаратура, тест Манна-Уитни

Для цитирования: Соколов И.Ю., Дарманиян А.П. Исследование противонакипного эффекта в теплообменной аппаратуре под воздействием электромагнитного поля // Агропромышленные технологии Центральной России. 2025. № 1(35). С. 127-133. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2025-35-1-127-133>.

Original article

STUDY OF ANTI-SCALING EFFECT IN HEAT EXCHANGE EQUIPMENT UNDER ELECTROMAGNETIC FIELD INFLUENCE

Ivan Yu. Sokolov^{1✉}, Anatoli P. Darmanian²

^{1,2}Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russian Federation

¹ivanfalcone@yandex.ru✉

²a.darmanyanyan@volgau.com

Abstract. The use of natural water in hot water supply systems is accompanied by the formation of scale on the walls of the equipment in the form of carbonate salts. Among the non-chemical methods of combating scale, a promising direction is the method of water treatment in an electromagnetic field (EMF), which is environmentally friendly, improves water quality and increases the efficiency of heat exchange equipment. Numerous experimental studies on the prevention of scale in heat exchange equipment are poorly comparable with each other due to the different characteristics of water and the devices used to create EMF. This article presents an experimental study of the anti-scale effect in the process of treating flowing artesian water in a pipe under the influence of an alternating pulsed electromagnetic field. The experiments were conducted at a temperature of 80 °C, two EMF frequencies and two powers of the Termit device. The anti-scale effect for flowing artesian water under the influence of EMF was confirmed. Based on calculations of the nonparametric Mann-Whitney test for all experiments, it was shown that the EMF parameters do not

have a significant effect on the anti-scale effect. It was concluded that the optimal conditions for treating artesian water in EMF have not yet been found.

Keywords: scale, electromagnetic field, calcium carbonate, heat exchange equipment, Mann-Whitney test

For citation: Sokolov I.Yu., Darmanian A. P. Mathematical modeling of the process of obtaining sugar distillate in a distillation cube, taking into account hydrodynamics and heat transfer. *Agro-industrial technologies of Central Russia*, 2025, no. 1(35), pp. 127-133. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2025-35-1-127-133>.

Введение

Использование природной воды (артезианская, водопроводная, из открытых источников и другие) в агропромышленном комплексе и, в частности, в системах горячего водоснабжения сопровождается образованием на стенках оборудования накипи, которая образуется из растворенных в воде минералов в виде солей различных металлов. В большинстве случаев накипь образуют гидрокарбонаты кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и магния $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. Отложение накипи в теплообменной аппаратуре (накипеобразование) представляют большую техническую и экономическую проблему из-за значительного снижения эффективности работы оборудования. Использование химических способов для борьбы с накипью («умягчение» воды), например, ингибиторов накипи являются дорогостоящими и экологически небезопасными. Среди нехимических способов борьбы с накипью и с предотвращением ее отложений особое место занимает метод воздействия электромагнитного поля (ЭМП) на воду, который экологически безопасен и позволяет улучшить качество воды путем снижения ее жесткости, предотвратить образование накипи и уменьшить ее количество на поверхностях теплообменного оборудования.

Еще в 1946г. бельгийский инженер Т. Вермейрен впервые получил патент на влияние магнитного поля на образование накипи, но экспериментальные исследования этого явления во всем мире начались гораздо позднее, начиная с 80-х годов прошлого столетия. В России уже в самых ранних работах было выявлено влияние постоянного магнитного поля на жесткость воды и проведены первые экспериментальные исследования по доказательству этого влияния. Впоследствии для снижения образования накипи стали использовать переменное ЭМП, были проведены малочисленные экспериментальные исследования по влиянию ЭМП на жесткость воды и созданы по результатам этих исследований приборы для защиты теплообменного оборудования от накипи [3]. Так компания «Экосервис Технохим-М» производит и применяет в промышленности прибор «Термит» для предотвращения накипи в теплообменной аппаратуре. Также известны положительные результаты промышленных испытаний противонакипного эффекта с устройствами ЭМП от зарубежных компаний [7,9].

Так как механизм образования накипи и влияние различных технологических условий на этот процесс еще недостаточно изучены, то научные исследования в этом направлении не прекращаются и в настоящее время. Более того, за последние 20 лет количество таких исследований в мире экспоненциально возросло [5,8], а количество работ с выявленным противонакипным эффектом ЭМП составляет уже около 95% [8]. В последние годы проблема накипеобразования стала особенно актуальной в связи с необходимостью защиты мембранных и обратноосмотических установок от накипи на участках подготовки воды в производствах переработки сельскохозяйственной продукции [6,8].

Несмотря на то, что механизм воздействия ЭМП на воду находится в стадии непрерывного изучения, благодаря многочисленным экспериментальным исследованиям этого явления уже сегодня имеется картина образования накипи в воде под воздействием ЭМП. Процесс образования накипи объясняют явлениями гидратации и действием ЭМП [1,3,5,6,8,10]. Дело в том, что бикарбонат кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, содержащийся в воде в растворенном виде, при нагревании переходит в нерастворимый карбонат кальция CaCO_3 и угольную кислоту H_2CO_3 , которая будучи неустойчивой распадается на воду и углекислый газ.

С помощью сканирующей микроскопии и рентгеноструктурного анализа экспериментами доказано [5-10], что образующийся в воде карбонат кальция CaCO_3 находится в трех

состояниях: кальцит, арагонит и ватерит. При температуре выше 80°C твердый кальцит выпадает в осадок на поверхности нагрева (на стенки теплообменной аппаратуры), образуя накипь. В тоже время арагонит имеет аморфную структуру, обладает меньшей адгезионной способностью и поэтому остается в объеме воды, а затем выносится с потоком воды. Ватерит – это нестойкое соединение, которое остается в растворенном виде в воде и на образование накипи не влияет.

Воздействие ЭМП на проточную воду принято связывать с действием силы Лоренца на заряженные частицы Ca^{2+} и HCO_3^- , которая, как полагают, препятствует протеканию обратной реакции образования CaCO_3 . Именно поэтому в ЭМП отложение накипи в виде твердого кальцита $\text{CaCO}_{3(\text{тв.})}$ уменьшается.

Выполненный нами анализ результатов многочисленных научных исследований противонакипного эффекта под влиянием ЭМП показал, что реальная эффективность этого метода зависит от множества факторов: происхождение и ионный состав воды, pH воды, конфигурация ЭМП (амплитуда, форма, частота, напряженность магнитного поля), время воздействия, скорость воды, температура воды, материал поверхности оборудования, место установки устройства ЭМП, масштабы оборудования и т.д. [5,8,10]. Ввиду таких существенных различий сопоставимость полученных результатов оказалась очень низкой. Кроме того, единых рекомендаций по практическому использованию метода ЭМП для противонакипной защиты теплообменного оборудования также в настоящее время нет, так как в каждом исследовании использовалась конкретная водная среда (от природной до искусственной), что затрудняет выбор наилучших технологических параметров.

Цель исследования – выполнить изучение противонакипного эффекта в трубе с проточной артезианской водой под воздействием ЭМП.

Материалы и методы исследований

В качестве водной среды была выбрана артезианская вода (см. табл. 1), которая используется в системах горячего водоснабжения во многих регионах Волгоградской области и в частности в системах подготовки воды на крупном агропромышленном предприятии АО «Сады Придонья».

Таблица 1. Химический состав артезианской воды

№ п/п	Показатель	Ед. измерения	Значение	Норматив ПДК	Рекомендации для использования ЭМП [1]
1	Водородный показатель	ед. pH	7,40	6,0 – 9,0	-
2	Железо общее	мг/дм ³	0,60	0,30	$\leq 0,30$
3	Жесткость общая	мг-экв/ дм ³	9,9	7,0	$\leq 9,0$
4	Солесодержание	мг/дм ³	850	1000	-
5	Сульфаты	мг/дм ³	216	500	≤ 50
6	Хлориды	мг/дм ³	211	350	

Как видно из данных в таблице 1, в природной артезианской воде Волгоградской области общая жесткость составляет 9,9 мг-экв/ дм³, что выше ПДК и значения, рекомендуемого производителем прибора «Термит» ($\leq 0,90$ мг-экв/ дм³). То же самое относится и к содержанию в воде железа, которое составляет 0,60 мг/дм³, в то время как рекомендуемое значение $\leq 0,30$ мг/дм³. Аналогично, суммарное содержание сульфатов и хлоридов в артезианской воде составляет 427 мг/дм³, которое в несколько раз превышает рекомендуемое значение ≤ 50 мг/дм³. Такая существенная разница в химическом составе воды согласно опубликованным результатам зарубежных исследований неизбежно должна приводить к «своему» противонакипному эффекту под воздействием ЭМП, так как даже незначительное изменение содержания ионов минералов вызывает значительные изменения зародышеобразования в процессах кристаллизации карбонатов в воде [6,7,9].

Для экспериментов использовали синтетическую воду, приготовленную из артезианской воды с содержанием бикарбоната 13,5 мг-экв/л и с pH = 7,0 – 7,2.

Для количественной оценки влияния ЭМП осадок высушивали, взвешивали на весах с пределом измерений ± 0.001 г и затем рассчитывали противонакипной эффект Э (%) согласно следующего соотношения [5,8-10]:

$$\mathcal{E} = \frac{\text{Отложение накипи без ЭМП}(z) - \text{Отложение накипи с ЭМП}(z)}{\text{Отложение накипи без ЭМП}(z)} \cdot 100\%, \quad (1)$$

Структуру осадка наблюдали с помощью электронного биологического микроскопа КОРРАСЕ 40X-1600X.

Схема экспериментальной установки показана на рис. 1а. Материал трубы – полипропилен. При расходе воды 20 л/мин скорость воды в трубе составляла 0,6 м/с, а температура воды в экспериментах была 80 °С. В качестве источника ЭМП использовали прибор «Термит», который генерирует импульсное инверсионное ЭМП с амплитудой до 33 В и частотой 1-10 кГц при двух мощностях (75% и 100%). Расположение витков соленоида на трубе показано на рис. 1б. Осциллограмма электромагнитного поля показана на рис. 2.

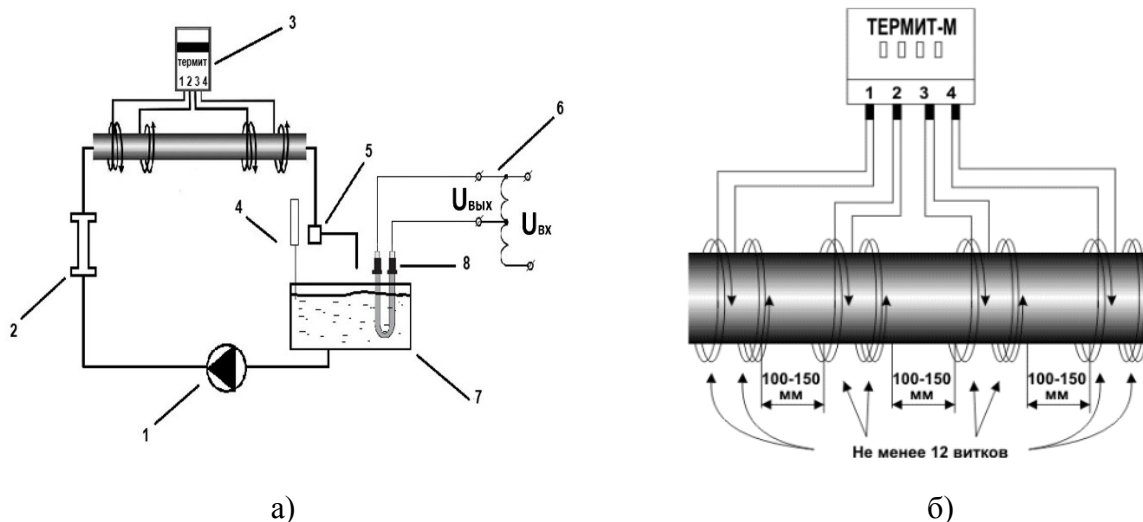


Рисунок 1. Экспериментальная установка:

а) – схема установки; б) – устройство «Термит-М»

1 – насос; 2 – расходомер; 3 – «Термит»; 4 – термометр; 5 – ячейка для сбора осадка;
6 – автотрансформатор; 7 – емкость с водой; 8 – ТЭН

При каждом зафиксированных условиях эксперимент проводили 5 раз и рассчитывали противонакипной эффект. При этом были использованы два значения ЭМП (12В, 2,4 кГц и 20В, 10,6 кГц) при разных режимах: без воздействия ЭМП, с воздействием ЭМП на 75%-ой выходной мощности и с воздействием на 100%-ой выходной мощности прибора «Термит». Минимальное значение напряжённости электрического поля, соответствующее 75% выходной мощности прибора, составляло 254 В/м, а максимальное значение – 613 В/м. При 100% выходной мощности прибора минимальное значение напряжённости было 320 В/м, а максимальное значение-1250 В/м.

Время обработки воды ЭМП в режиме её циркуляции составляло 2 часа.

Результаты исследований и их обсуждение

Прежде всего, после проведения экспериментов было обнаружено, что на всем оборудовании, а также на уплотнительных кольцах и силиконовых соединительных трубках был замечен осадок накипи. Образцы осадка из измерительной ячейки (поз. 5 на рис. 1а) после высушивания и измерения веса наблюдали под микроскопом КОРРАСЕ 40X-1600X. При двух значениях мощности прибора структура осадка приведена на рис. 3.

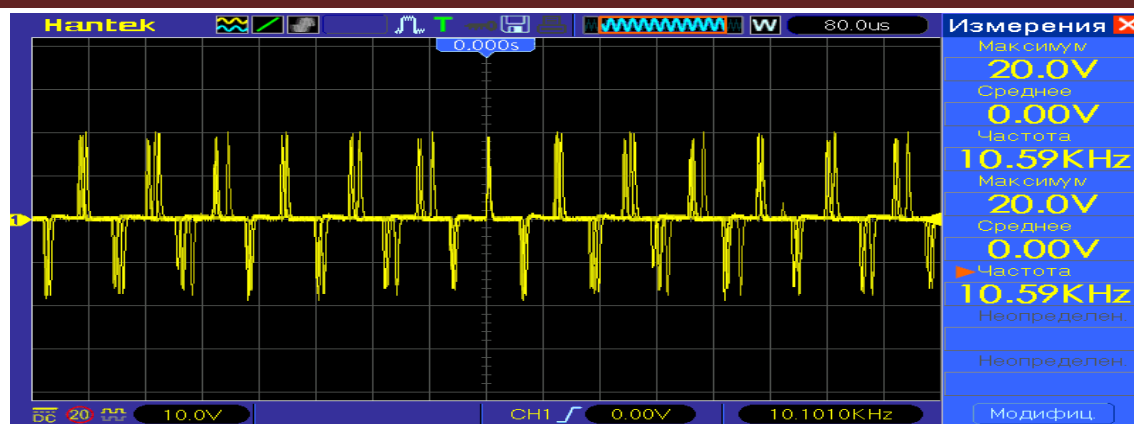


Рисунок 2. Осциллограмма электромагнитного поля прибора «Термит»

Внимательное изучение всех полученных снимков показало, что структура осадка под воздействием ЭМП, действительно, более рыхлая, чем без воздействия ЭМП, что хорошо согласуется с результатами других исследований [6,8,10] и подтверждает предположение о гомогенной кристаллизации карбонатов в объеме воды, а не гетерогенной кристаллизации на стенках оборудования с образованием накипи.

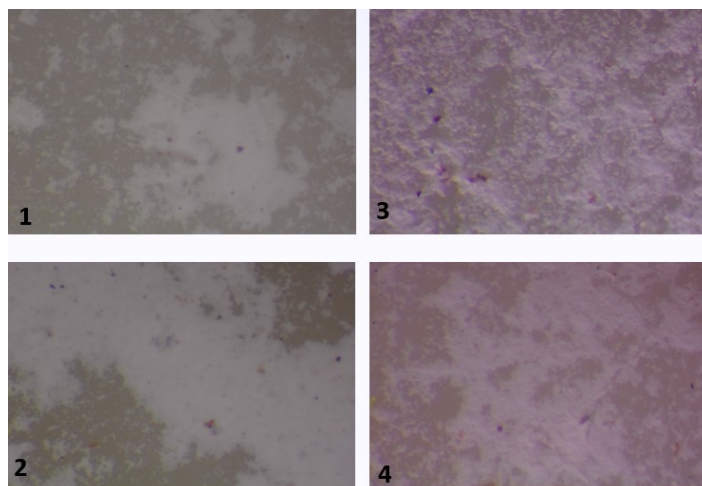


Рисунок 3. Структура осадка накипи под микроскопом KOPRACE 40X-1600X:
1,2 – структура осадка без воздействия ЭМП; 3 – структура осадка под воздействием ЭМП при 100%-ой выходной мощности; 4 – структура осадка под воздействием ЭМП при 75%-ой выходной мощности

Значения противонакипного эффекта Э (%) приведены в таблице 2. Как видно, все значения Э (%) при различных условиях экспериментов находятся в интервале значений 24-27%, что соответствует известным данным [5,10]. В тоже время, так как в отдельных работах наблюдалось и более высокое значение противонакипного эффекта вплоть до 80% [5,7,8], то это свидетельствует о том, что оптимальные условия для воздействия ЭМП на артезианскую воду еще не найдены.

Так как значения величины Э (%) для разных условий экспериментов оказались близкими, а число опытов было мало, то для выявления статистической значимости различий был использован непараметрический критерий Манна-Уитни (*Mann-Whitney test*). Для этого критерия р-значения, вычисленные по данным таблицы 2 в ПП STATISTICA 12.0, также приведены в таблице 2.

Так как полученные величины для р-значений оказались больше уровня значимости ($p < 0,05$), то можно заключить, что противонакипной эффект при 100% и 75% мощности прибора «Термит» в наших экспериментах оказался статистически не значим.

Таблица 2. Значения противонакипного эффекта Э (%) при температуре 80 °С и при значениях мощности прибора «Термит» 75% и 100%

№	Параметры ЭМП: 12В и 2,4 кГц		Параметры ЭМП: 20В и 10,6 кГц	
	100%	75%	100%	75%
1	27	25	26	25
2	26	27	28	27
3	28	26	27	26
4	26	28	26	28
5	25	24	27	24
<i>p</i> -значение критерия Манна-Уитни	0,754		0,273	

Аналогично, оказались статистически незначимыми и значения Э (%) при различных параметрах ЭМП (напряжение и частота), так как расчетная величина *p*-значения составила 0,898. Эти данные также хорошо согласуются с результатами зарубежных исследований, в которых отмечается, что конфигурация ЭМП не оказывает существенного влияния на противонакипной эффект [5,8,10].

Таким образом, проведенное экспериментальное исследование по воздействию ЭМП прибором «Термит» на проточную артезианскую воду подтвердило противонакипной эффект такого метода. Однако низкое значение полученного противонакипного эффекта в пределах 24 – 27% свидетельствует о необходимости дальнейших исследований в этом направлении с применением других конструкций устройств для воздействия ЭМП, например, с использованием специальных смесителей для турбулизации потока воды [4], а также с целью выявления оптимальных технологических режимов для артезианской воды.

Выводы

1. На лабораторной установке в полипропиленовой трубе при температуре 80 °С выполнено экспериментальное исследование по воздействию ЭМП от прибора «Термит» на артезианскую воду при различных параметрах работы прибора.
2. Показано, что в артезианской воде наблюдается противонакипной эффект, хотя его количественное значение невелико.
3. Статистическими расчетами показано, что различия в противонакипном эффекте при мощности прибора 75% и 100% и параметрах ЭМП (напряжение 12В и 20В, частота 2,4 кГц и 10,6 кГц) статистически не значимы.

Список источников

1. Дмитриева А.Ю. Исследование скорости реакции разложения гидрокарбоната кальция под воздействием электромагнитного излучения в статическом режиме // Вода: химия и экология. 2011. №5 (35). С. 80-87.
2. Мельников М.В., Корепанов М.А., Калинин А.С. Электромагнитная обработка воды для защиты от накипи // Химическая физика и мезоскопия. 2017. Т.19. №3. С.389-395.
3. Мосин О.В. Современные технологии и оборудование для магнитной обработки воды (Обзор) // Водоснабжение и санитарная техника. 2013. № 8. С. 28-36.
4. Урецкий Е.А., Дарманиян А.П., Мороз В.В. Исследование эффективности перемешивания жидкостей в вихревых центробежных смесителях // Вестник Брестского ГТУ. 2023. № 2 (131). С.48-51.
5. Alimi, F. Influence of magnetic field on calcium carbonate precipitation: A Critical review // Magnetochemistry. 2024. V.10. Iss.83. Pp. 1-23.
6. Boluda-Botella N. et al. Analysis of calcium carbonate scales in water distribution systems and influence of the electromagnetic treatment // Water. 2024. V.16. Pp. 1554.

7. Lipus L. C., Dobersek, D. Influence of magnetic field on the aragonite precipitation // Chem. Eng. Sci. 2007. No. 62(7). Pp. 2089-2095.
8. Lu Lin, Wenbin Jiang, Xuesong Xu and Pei Xu. A critical review of the application of electromagnetic fields for scaling control in water systems: mechanisms, characterization, and operation // npj Clean Water. 2020. Vol. 3. P. 25.
9. Piyadasa C. et al. The influence of electromagnetic fields from two commercially available water-treatment devices on calcium carbonate precipitation // Environmental Science: Water Research and Technology. 2017. No. 3(3). Pp. 566-572.
10. Salim Ouhenia et al. The effect of a magnetic field on the precipitation of calcium carbonate // Applied Physics A. 2021. Vol. 127. P. 716.

References

1. Dmitrieva A.Y. Investigation of the reaction rate of decomposition of calcium bicarbonate under the influence of electromagnetic radiation in a static mode. Water: chemistry and ecology, 2011, no. 5 (35), pp. 80-87.
2. Melnikov M.V., Korepanov M.A., Kalinin A.S. Electromagnetic water treatment for scale protection. Chemical physics and mesoscopy, 2017, vol.19, no. 3, pp.389-395.
3. Mosin O.V. Modern technologies and equipment for magnetic water treatment (Review). Water supply and sanitary engineering, 2013, no. 8, pp. 28-36.
4. Uretskiy E.A., Darmanyan A.P., Moroz V.V. Investigation of the efficiency of mixing liquids in vortex centrifugal mixers. Bulletin of Brest State Technical University, 2023, no. 2 (131), pp. 48-51.
5. Alimi, F. Influence of magnetic field on calcium carbonate precipitation: A Critical review. Magnetochemistry, 2024, vol. 10, iss.83, pp. 1-23.
6. Boluda-Botella N. et al. Analysis of calcium carbonate scales in water distribution systems and influence of the electromagnetic treatment. Water, 2024, vol. 16, pp. 1554.
7. Lipus L. C., Dobersek, D. Influence of magnetic field on the aragonite precipitation. Chem. Eng. Sci., 2007, no. 62(7), pp. 2089-2095.
8. Lu Lin, Wenbin Jiang, Xuesong Xu and Pei Xu. A critical review of the application of electromagnetic fields for scaling control in water systems: mechanisms, characterization, and operation. Npj Clean Water, 2020, vol. 3, p. 25.
9. Piyadasa C. et al. The influence of electromagnetic fields from two commercially available water-treatment devices on calcium carbonate precipitation. Environmental Science: Water Research and Technology, 2017, no. 3(3), pp. 566-572.
10. Salim Ouhenia et al. The effect of a magnetic field on the precipitation of calcium carbonate. Applied Physics A, 2021, vol. 127, p. 716.

Информация об авторах

И.Ю. Соколов – аспирант кафедры «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий АПК»;

А.П. Дарманиян – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Электрооборудование и электрохозяйство предприятий АПК».

Information about the authors

I.Yu. Sokolov – Postgraduate student of the Department of Electrical Equipment and Electrical Management of Agricultural Enterprises;

A.P. Darmanian – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Electrical Equipment and Electrical Management of Agricultural Enterprises.

АГРОЭКОЛОГИЯ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

AGROECOLOGY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

Научная статья

УДК 631.474

DOI 10.24888/2541-7835-2025-35-1-134-140

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ БОНИТЕТА ПОЧВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ В ИНТЕНСИВНЫХ ЯБЛОНЕВЫХ САДАХ

Захаров Вячеслав Леонидович^{1✉}, Пугачев Григорий Николаевич²,
Шубкин Сергей Юрьевич³, Бунеев Сергей Сергеевич⁴

^{1,3,4} Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, Елец, Россия

² ФНИЦ им. И.В. Мичурина, Мичуринск, Россия

¹ zacharov7979@mail.ru✉

² grig-nir42@mail.ru

³ shubkin.92@mail.ru

⁴ limes88@mail.ru

Аннотация. Исследования проводили в 2019-2025 гг. в интенсивных неорошаемых яблоневых садах Липецкой и Тамбовской области. Междурядья всех садов содержались под чёрным паром. Почвы анализировались перед раскорчёвкой интенсивных садов, то есть в возрасте деревьев 16 лет. В процессе эксплуатации интенсивных яблоневых садов за 16 лет почвенный покров дифференцируется по своим физико-химическим параметрам на 2 технические зоны: приствольная полоса и междурядье. По сравнению с междурядьями в приствольных полосах за счёт листового опада яблони, затенения, поддержания влажности, отсутствия механических обработок почва сохраняется в более благоприятном виде: больше содержание гумуса в слое 0-20 см, в слое 0-60 см меньше плотность почвы, меньше плотность твёрдой фазы, выше пористость, выше наименьшая влагоёмкость, гигроскопичность, водопроницаемость, более благоприятная оструктуренность, высокая водопрочность агрегатов и высокая биологическая активность. Всё это в итоге отражается на комплексном показателе почвы – бонитете. Отклонение бонитет почв приствольных полос интенсивных яблоневых садов от бонитета междурядий составляет 8,74-19,25 балла. По мере увеличения устойчивости почвы к садовой агротехнике почвы можно расположить в следующем порядке: чернозёмно-луговая оподзоленная < лугово-чернозёмная оподзоленная < луговато-чернозёмная выщелоченная, чернозёмно-влажно-луговая < чернозёмно-луговая выщелоченная < серая лесная < лугово-чернозёмная выщелоченная, чернозём выщелоченный < чернозём типичный.

Ключевые слова: дифференциация почвенного покрова, интенсивные сады, яблоня, бонитет, технические зоны сада, тип почвы

Финансирование: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-26-00232, <https://rscf.ru/project/25-26-00232/>.

Для цитирования: Дифференциация бонитета почв Центральной России в интенсивных яблоневых садах / В.Л. Захаров, Г.Н. Пугачев, С.Ю. Шубкин, С.С. Бунеев // Агропромышленные технологии Центральной России. 2025. № 1(35). С. 134-140. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2025-35-1-134-140>.

Original article

DIFFERENTIATION OF SOIL BONITENESS IN CENTRAL RUSSIA IN INTENSIVE APPLE ORCHARDS

Vyacheslav L. Zaharov^{1✉}, Grigorij N. Pugachev², Sergej Yu. Shubkin³, Sergej S. Buneev⁴

^{1,3,4}Bunin Yelets State University, Yelets, Russia

²Michurin Federal Scientific Center, Michurinsk, Russia

¹zaxarov7979@mail.ru✉

²grig-nir42@mail.ru

³shubkin.92@mail.ru

⁴limes88@mail.ru

Abstract. The research was conducted in 2019-2025 in intensive non-irrigated apple orchards in the Lipetsk and Tambov regions. The aisles of all the gardens were kept under black steam. The soils were analyzed before uprooting intensive gardens, that is, at the age of the trees 16 years. During the operation of intensive apple orchards for 16 years, the soil cover is differentiated by its physico-chemical parameters into 2 technical zones: the trunk strip and the row spacing. Compared with row spacing in trunk strips, due to apple tree leaf litter, shading, moisture maintenance, and lack of mechanical treatments, the soil remains in a more favorable form: the humus content in the 0-20 cm layer is higher, the soil density in the 0-60 cm layer is lower, the density of the solid phase is lower, porosity is higher, the lowest moisture capacity is higher, hygroscopicity, water permeability, more favorable structurality, high water resistance of aggregates and high biological activity. All this is ultimately reflected in the complex indicator of the soil – bonitet. The deviation of the soil bonus of the trunk strips of intensive apple tallow from the row spacing bonus is 8.74-19.25 points. As the soil's resistance to horticultural agrotechnics increases, the soils can be arranged in the following order: chernozem-meadow podzolic < meadow-black earth podzolic < meadow-chernozem leached, chernozem-moist meadow < chernozem-meadow leached < gray forest < meadow-chernozem leached, leached chernozem < typical chernozem.

Keywords: differentiation of soil cover, intensive orchards, apple tree, bonus, technical garden areas, soil type

Funding: the research was carried out at the expense of the grant of the Russian Science Foundation No. 25-26-00232, <https://rscf.ru/project/25-26-00232/>.

For citation: Differentiation of Soil Quality in Central Russia in Intensive Apple orchards. V.L. Zakharov, G.N. Pugachev, S.Yu. Shubkin, S.S. Buneev. Agro-industrial technologies of Central Russia, 2025, no. 1(35), pp. 134-140. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2025-35-1-134-140>.

Введение

Бонитет почв – это интегральный показатель плодородия почвы [2], на основе которого легко вычислить кадастровую стоимость земли [10]. Бонитет характеризует также устойчивость почвы, их буферность [4]. Для этого и проводится периодический мониторинг земельных ресурсов [7]. Предлагается регрессионная зависимость для вычисления бонитета дерново-подзолистых почв под зерновые, корнеплоды и многолетние травы. Уравнение основано на табличных данных, обобщающих результаты многолетних полевых наблюдений на сельскохозяйственных угодьях Северо-Западного региона европейской части России, опубликованных В.А. Семёновым [9].

В приствольных полосах наблюдаются другие изменения свойств почвы. Поскольку опад листьев яблони – это ценный источник минеральных элементов, то почвы некоторых садов по сравнению с лесными почвами более благоприятны по содержанию обменного кальция, подвижного минерального фосфора, обменного магния, поглощённого калия, нитратов количеству микроорганизмов [14]. На основе соотношения органического углерода в почве и физической глины можно судить о степени деградации и потенциальной буферности почвы [12]. В древесных сообществах на глинистых почвах запасы органического углерода и азота за счёт листового опада будут в 2 раза выше, чем на песчаных [13].

По мере роста яблони величина наименьшей влагоёмкости может меняться. Известно, что наибольшая глубина иссушения почвы (без орошения сада) составляет 160-170 см в возрасте сада 9-17 лет [16]. Начиная с 10-года жизни яблони запасы влаги в почве сада ощутимо

ниже, чем в пахотных почвах полевых севооборотов. Эти различия увеличиваются к 19-летнему возрасту сада [17]. В ризосфере яблони формируется специфическая грибная микрофлора, ускоряющая деструкцию целлюлозы, присущая всем лесным ценозам [11]. Суглинистые почвы имеют более богатый видовой состав почвенных грибов, чем супеси [15].

Цель исследований – установить различия в бонитете разных типов почв в двух технических зонах интенсивных яблоневых садов Центральной России – приствольной полосе и междурядье.

Материалы и методы исследований

Исследования проводили в 2019-2025 гг. Объектами исследований являлись почвы в интенсивных яблоневых садах Липецкой области: СПССПК «Тимирязевский» Долгоруковского района (почва - чернозём выщелоченный), ЗАО «Агрофирма имени 15 лет Октября» Лебедянского района (почва – серая лесная) и Тамбовской области: АО «Дубовое» Петровского района (почва – чернозём типичный), в ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина» Мичуринского района (ряд типов почв). Схема посадки садов 4,5х2,5 м. Подвой 62-396. В садах не использовалось капельное орошение и шпалера. Междурядья всех садов содержались под чёрным паром: весеннее боронование зубowymi боронами на глубину 3-5 см и 5-6-кратная обработка на глубину 10-12 см в течение лета, которая заключалась в чередовании культиваций и дисковых боронований. 1 раз в 4 года проводилась осенняя отвальная вспашка на глубину 20-25 см. Исследования проводились на сорте Лобо. Почвы имели среднесуглинистый гранулометрический состав. Мы сопоставляли свойства почв в приствольных полосах и в междурядьях в возрасте деревьев 14-16 лет. Было 24 учётных дерева (по 6 деревьев в блоке). Количество блоков (повторений) – 4. Расположение блоков – рендомизированное. Агрохимические анализы почвы проводили по инструкции ЦИНАО [6]. Гранулометрический состав почв определяли пирофосфатным методом [8]. Оценку почвенных параметров проводили по методике В.Д. Иванова [5]. Математическую обработку данных проводили по методике Б.А. Доспехова [3], статистическую обработку данных проводили с использованием программы Statistica 8.0. Бонитировку проводили расчётным методом по картограммам [1].

Результаты исследований и их обсуждение

В процессе эксплуатации интенсивных яблоневых садов за 16 лет почвенный покров дифференцируется по своим физико-химическим параметрам на 2 технические зоны: приствольная полоса и междурядье. По сравнению с междурядьями в приствольных полосах за счёт листового опада яблони, затенения, поддержания влажности, отсутствия механических обработок почва сохраняется в более благоприятном виде: больше содержание гумуса в слое 0-20 см, в слое 0-60 см меньше плотность почвы, меньше плотность твёрдой фазы, выше пористость, выше наименьшая влагоёмкость, гигроскопичность, водопроницаемость, более благоприятная оструктуренность, высокая водопрочность агрегатов и высокая биологическая активность. Всё это в итоге отражается на комплексном показателе почвы – бонитете.

На основе многолетних физико-химических анализов и обследований почв в интенсивных яблоневых садах нами был вычислен бонитет разных типов чернозёмных почв: луговато-чернозёмной выщелоченной (ЛЧВ), лугово-чернозёмной выщелоченной (ЛЧ выщ), чернозёмно-луговой выщелоченной (ЧЛВ), чернозёмно-влажно-луговой (ЧВЛ), чернозёма выщелоченного и чернозёма типичного (рис. 1).

Установлено, что бонитет почв в приствольных полосах чернозёмных почв на 8,7-11,6 балла выше, чем в междурядьях. Это существенное отличие, так как $НСР_{05} = 5$ баллов. Наибольшая разница составила 11,63 балла у луговато-чернозёмной выщелоченной и у чернозёмно-влажно-луговой почвы, а наименьшая у чернозёма типичного (8,74 балла).

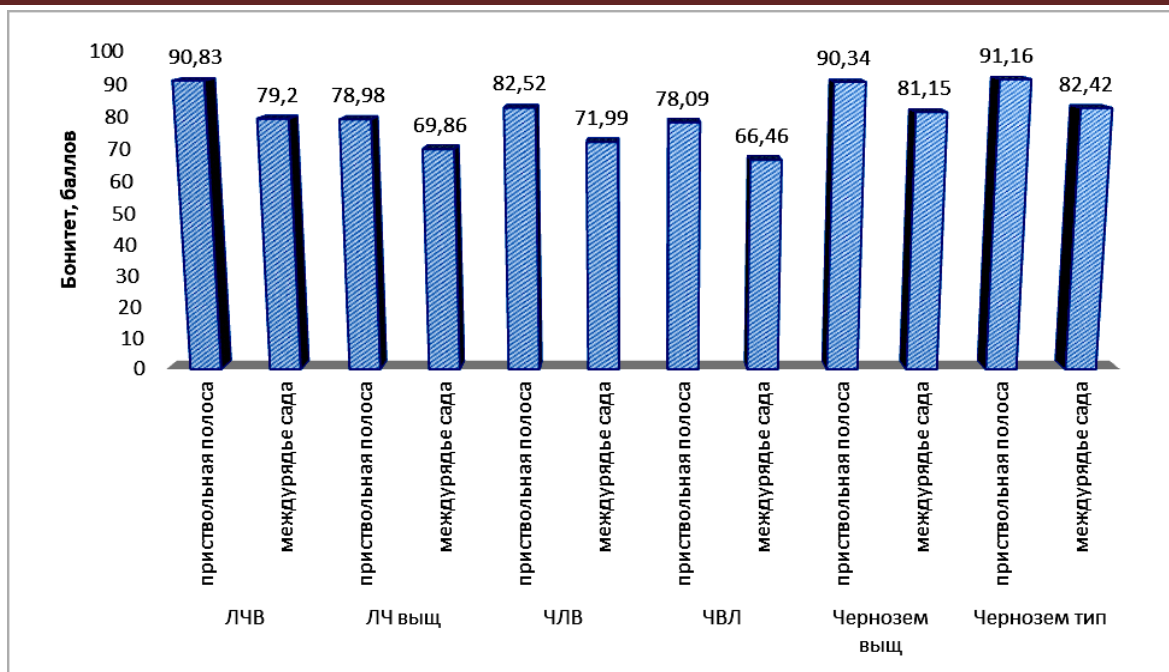


Рисунок 1. Бонитет чернозёмных почв в конце периода эксплуатации интенсивных яблоневых садов (14-16 лет)

Также нами был вычислен бонитет оподзоленных почв, находившихся под интенсивными яблоневыми садами: лугово-чернозёмной оподзоленной (ЛЧ оп), чернозёмно-луговой оподзоленной (ЧЛ оп) и серой лесной (рис. 2).

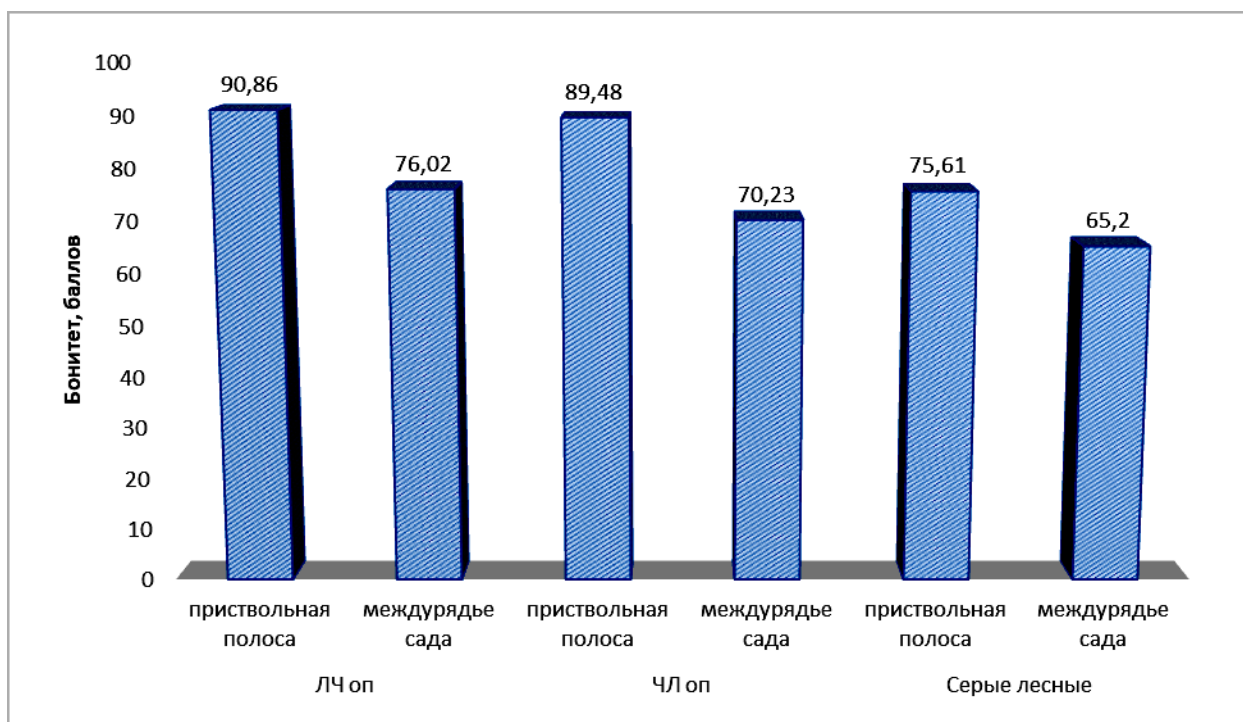


Рисунок 2. Бонитет оподзоленных почв в конце периода эксплуатации интенсивных яблоневых садов (14-16 лет)

Из оподзоленных почв, судя по отклонению бонитета междурядий от приствольных полос, самой устойчивой почвой к садовой агротехнике оказалась серая лесная (отклонение 10,41 балла), а самой неустойчивой – чернозёмно-луговая оподзоленная (отклонение бонитета 19,25 балла).

Несомненно бонитет одного и того же типа почвы и даже подтипа в интенсивных яблоневых садах по разным хозяйствам может сильно варьировать, так как определяется уровнем агротехники (количеством вносимых удобрений и мелиорантов, глубиной и периодичностью механических обработок междурядий, предпосадочной подготовкой почвы. Поэтому мы в данном исследовании оценивали изменение бонитета почв в пределах указанных хозяйств.

Данный подход к мониторингу земель в садоводстве позволит выявлять слабые стороны ухода за почвой и наиболее устойчивые типы и подтипы почв к садовой агротехнике.

Выводы

1. Отклонение бонитет почв приствольных полос интенсивных яблоневых садов от бонитета междурядий составляет 8,74-19,25 балла.

2. По мере увеличения устойчивости почвы к садовой агротехнике почвы можно расположить в следующем порядке: чернозёмно-луговая оподзоленная < лугово-чернозёмная оподзоленная < луговато-чернозёмная выщелоченная, чернозёмно-влажно-луговая < чернозёмно-луговая выщелоченная < серая лесная < лугово-чернозёмная выщелоченная, чернозём выщелоченный < чернозём типичный.

Список источников

1. Гаврилюк Ф.Я. Бонитировка почв. Москва: Высшая школа, 1970. 261 с.
2. Глистин М.В., Устинов М.Т. Мелиоративный бонитет почв – интегральный показатель факторов лимитирующих плодородие почв Западной Сибири // Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны: Тезисы докладов VII Съезда почвоведов им. В.В. Докучаева и Всероссийской с международным участием научной конференции, Белгород, 15-22 августа 2016 года. Ответственные редакторы: С.А. Шоба, И.Ю. Савин. Том Часть II. Белгород: Издательский дом «Белгород», 2016. С. 393.
3. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования): учебник для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по агрономическим специальностям. 6-е изд. 1985. Москва: Альянс, 2011. 351с.
4. Елизаров А.О., Ушаков Р.Н. Использование бонитета для оценки устойчивости черноземных почв в ООО «Полуботок» Михайловского района Рязанской области // Экология и природопользование: тенденции, модели, прогнозы, прикладные аспекты: Материалы Национальной научно-практической конференции, Рязань, 17 марта 2022 года. Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2022. С. 32-37.
5. Иванов В.Д., Кузнецова Е.В. Оценка почв: учеб. пособ. Воронеж: ФГОУ ВПО ВГАУ, 2004. 287 с.
6. Инструкция ЦИНАО по проведению массовых анализов почв в зональных агрохимических лабораториях. Москва: Колос, 1973. 55 с.
7. Мониторинг плодородия почв хозяйства «Надежда-2» и его влияние на балл бонитета и качественную оценку почв / А. Р. Аминова, Р. С. Кужаева, Т. Ю. Дворникова, С. П. Стрелков // Актуальные проблемы биологии, почвоведения и естественнонаучного образования: Материалы научно-практической конференции, Астрахань, 01–31 мая 2016 года. Астрахань: Астраханский государственный университет, Издательский дом «Астраханский университет», 2016. С. 23-25.
8. Ревут И.Б. Физика почв. Ленинград: Колос, 1964. 318 с.
9. Усков И.Б., Усков А.О. Эффективный метод расчётного определения бонитета почв // Плодородие. 2024. № 5(140). С. 16-19.
10. Цховребов В.С., Краснощекова С.А. Кадастровая стоимость и балл бонитета почв крайне засушливой зоны Ставропольского края // Современные ресурсосберегающие инновационные технологии возделывания сельскохозяйственных культур в Северо-Кавказском федеральном округе, Ставрополь, 12–15 апреля 2016 года. Ставрополь: Общество с ограниченной ответственностью «СЕКВОЙЯ», 2016. С. 192-194.

11. Roiger D.J., Jeffers S.N., Caldwell R.W. Occurrence of *Trichoderma* species in apple orchard and woodland soils // *Soil Biology and Biochemistry*. 1991. Vol. 23. Issue 4. Pp. 353-359.
12. Romanya J., Rovira P. An appraisal of soil organic C content in Mediterranean agricultural soils // *Soil use and management*. 2011. Vol. 27. Issue 3. Pp. 321-332.
13. Silver W., Neff J., McGroddy M. et al. Effects of Soil Texture on Belowground Carbon and Nutrient Storage in a Lowland Amazonian Forest Ecosystem // *Ecosystems*. 2000. Vol. 3. Pp. 193–209.
14. Wartman P.C., Dunfield K.E., Khosla K., Loucks C., Van Acker R.C., Martin R.C. The establishment of apple orchards as temperate forest garden systems and their impact on indigenous bacterial and fungal population abundance in Southern Ontario, Canada // *Renewable agriculture and food systems*. 2017. Vol. 32. Issue 2. Pp. 157-168.
15. Yuefan S., Haiyan W., Mei W., Hanhao L., Li X., Fengbing P., Xuesen C., Xiang S., Chengmiao Y., Zhiqian M. Effects of Soil Texture on the Growth of Young Apple Trees and Soil Microbial Community Structure Under Replanted Conditions // *Horticultural Plant Journal*. Vol. 6. Issue 3. May 2020. Pp. 123-131.
16. Yunqiang W., Mingan S., Zhipeng L., Chencheng Z. Characteristics of Dried Soil Layers Under Apple Orchards of Different Ages and Their Applications in Soil Water Managements on the Loess Plateau of China // *Pedosphere*. 2015. Vol. 25. Issue 4. Pp. 546-554.
17. Zhang J., Wang L. The impact of land use on water loss and soil desiccation in the soil profile // *Hydrogeology journal*. 2018. Vol. 26. Issue 1. Pp. 185-196.

References

1. Gavriluk F.Ya. Bonitization of soils. Moscow: Higher School, 1970. 261 p.
2. Glistin M.V., Ustinov M.T. Soil reclamation bonus – an integral indicator of factors limiting soil fertility in Western Siberia. Soil science - food and environmental safety of the country: Abstracts of the VII Congress of Soil Scientists named after V.V. Dokuchaev and the All-Russian scientific conference with international participation, Belgorod, August 15-22, 2016 year. Responsible editors: S.A. Shoba, I.Y. Savin. Volume Part II. Belgorod: Belgorod Publishing House, 2016. P. 393.
3. Dospekhov B.A. Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results): textbook for students of higher agricultural educational institutions on agro-nomic specialties. 6th ed., 1985. Moscow: Alliance, 2011. 351 p.
4. Elizarov A.O., Ushakov R.N. The use of bonuses to assess the stability of black earth soils in LLC «Polubotok» of the Mikhailovsky district of the Ryazan region. Ecology and nature management: trends, models, forecasts, applied aspects: Proceedings of the National Scientific and Practical Conference, Ryazan, March 17, 2022. Ryazan: Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, 2022. Pp. 32-37.
5. Ivanov V.D., Kuznetsova E.V. Soil assessment: textbook. the manual. Voronezh: FSEI HPE VSAU, 2004. 287 p.
6. Instructions of the Central Administrative District on conducting mass soil analyses in zonal agrochemical laboratories. Moscow: Kolos Publ., 1973. 55 p.
7. Monitoring of soil fertility of the Nadezhda-2 farm and its impact on the bonita score and qualitative assessment of soils / A. R. Aminova, R. S. Kuzhaeva, T. Y. Dvornikova, S. P. Strelkov. Actual problems of biology, soil science and natural science education: Proceedings of a scientific and practical conference, Astrakhan, May 01-31 in 2016. Astrakhan: Astrakhan State University, Astrakhan University Publishing House, 2016. Pp. 23-25.
8. Revut I.B. Physics of soils. Leningrad: Kolos Publ., 1964. 318 p.
9. Uskov I.B., Uskov A.O. An effective method for calculating soil bonit. Fertility, 2024, no. 5(140), pp. 16-19.
10. Tskhovrebov V.S., Krasnoshchekova S.A. Cadastral value and soil bonus score of the extremely arid zone of the Stavropol Territory. Modern resource-saving innovative crop cultivation

technologies in the North Caucasus Federal District, Stavropol, April 12-15, 2016. Stavropol: SEQUOIA Limited Liability Company, 2016, pp. 192-194.

11. Roiger D.J., Jeffers S.N., Caldwell R.W. Occurrence of *Trichoderma* species in apple orchard and woodland soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 1991, vol. 23, issue 4, pp. 353-359.

12. Romanyà J., Rovira P. An appraisal of soil organic C content in Mediterranean agricultural soils. *Soil use and management*, 2011, vol. 27, issue 3, pp. 321-332.

13. Silver W., Neff J., McGroddy M. et al. Effects of Soil Texture on Belowground Carbon and Nutrient Storage in a Lowland Amazonian Forest Ecosystem. *Ecosystems*, 2000, vol. 3, pp. 193-209.

14. Wartman P.C., Dunfield K.E., Khosla K., Loucks C., Van Acker R.C., Martin R.C. The establishment of apple orchards as temperate forest garden systems and their impact on indigenous bacterial and fungal population abundance in Southern Ontario, Canada. *Renewable agriculture and food systems*, 2017, vol. 32, issue 2, pp. 157-168.

15. Yuefan S., Haiyan W., Mei W., Hanhao L., Li X., Fengbing P., Xuesen C., Xiang S., Chengmiao Y., Zhiquan M. Effects of Soil Texture on the Growth of Young Apple Trees and Soil Microbial Community Structure Under Replanted Conditions. *Horticultural Plant Journal*, vol. 6, issue 3, may 2020, pp. 123-131.

16. Yunqiang W., Mingan S., Zhipeng L., Chencheng Z. Characteristics of Dried Soil Layers Under Apple Orchards of Different Ages and Their Applications in Soil Water Managements on the Loess Plateau of China. *Pedosphere*, 2015, vol. 25, issue 4, pp. 546-554.

17. Zhang J., Wang L. The impact of land use on water loss and soil desiccation in the soil profile. *Hydrogeology journal*, 2018, vol. 26, issue 1, pp. 185-196.

Информация об авторах

В.Л. Захаров – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агротехнологий, хранения и переработки сельскохозяйственной продукции;

Г.Н. Пугачев – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник;

С.Ю. Шубкин – кандидат технических наук, доцент, и.о. директора института агrobiотехнологий и технических систем;

С.С. Бунеев – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры агроинженерии, мехатронных и радиоэлектронных систем.

Information about the authors

V.L. Zakharov – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Agricultural Technologies, Storage and Processing of agricultural Products;

G.N. Pugachev – Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher;

S.Yu. Shubkin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Acting Director of the Institute of Agrobiotechnology and Technical Systems;

S.S. Buneev – Candidate of Physico-Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Agroengineering, Mechatronic and Radioelectronic Systems.

ПРАВИЛА НАПРАВЛЕНИЯ, РЕЦЕНЗИРОВАНИЯ И ОПУБЛИКОВАНИЯ НАУЧНЫХ СТАТЕЙ в научно-практическом журнале «Агропромышленные технологии Центральной России»

Требования к направленным на публикацию рукописям

Представленные для публикации материалы должны соответствовать научному направлению журнала, быть актуальными, содержать новизну, научную и практическую значимость.

В статье обязательно должна быть представлена следующая информация (на русском и английском языках): тип статьи; индекс Универсальной десятичной классификации (УДК); заглавие статьи; сведения об авторе (авторах); аннотация; ключевые слова; список источников.

Дополнительно могут быть приведены: благодарности; сведения о вкладе каждого автора.

При оформлении статьи следует придерживаться следующей структуры: **введение, материалы и методы исследований, результаты исследований и их обсуждение, выводы.**

Тип статьи – научная. Указывают отдельной строкой слева.

Индекс УДК помещают на отдельной строке слева.

Заглавие статьи приводят перед статьей, по центру, **прописными** буквами.

Сведения об авторе (авторах) содержат: имя, отчество, фамилию автора (полностью); наименование организации (учреждения), где работает или учится автор (без обозначения организационно-правовой формы юридического лица: ФГБУН, ФГБОУ ВО, АО и т.п.); адрес организации (учреждения), где работает или учится автор (город и страна); электронный адрес автора приводят без слова «e-mail», после электронного адреса точку не ставят.

Сведения о месте работы (учебы), электронные адреса, авторов указывают после имен авторов на разных строках и связывают с именами с помощью надстрочных цифровых обозначений.

Автор, ответственный за переписку, и его электронный адрес обозначается условным изображением конверта.

Аннотация: рекомендуемый объем – 150-200 слов. Аннотацию не следует начинать с повторения названия статьи. Аннотация должна содержать следующую информацию: цель исследования, методы, результаты (желательно с приведением количественных данных), выводы. В аннотации не допускается разбивка на абзацы и использование вводных слов и оборотов.

Ключевые слова должны соответствовать теме статьи и отражать ее предметную область. Количество ключевых слов **не должно быть меньше 3 и более 7**.

После ключевых слов по желанию приводят слова **благодарности** организациям, научным руководителям и другим лицам, оказавшим помощь в подготовке статьи, сведениях о грантах и т.п. Эти сведения приводят с предшествующим словом «**Благодарности**».

Перечень затекстовых библиографических ссылок помещают после основного текста статьи с предшествующими словами «**Список источников**», который оформляют по ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления».

Библиографические записи в перечне затекстовых библиографических ссылок нумеруют и располагают в **алфавитном** порядке. Отсылку на источник в тексте статьи приводят в **квадратных скобках** после цитаты.

Количество публикаций одного автора в одном выпуске не более 2 статей, выполненных индивидуально, или не более 3-х статей, выполненных в соавторстве.

Особое внимание авторов обращаем на качество перевода заглавия, ключевых слов, аннотации, списка источников и сведений об авторах. Перевод должен быть обязательно сделан профессиональным переводчиком или носителем языка, имеющим необходимую компетенцию. Перевод с помощью автоматизированного переводчика не допускается. При низком качестве перевода статья может быть отклонена от печати.

ВНИМАНИЕ: Авторы несут полную ответственность за достоверность и оригинальность информации, предоставленной в рукописи. Все рукописи проходят проверку на наличие заимствований в системе «Антиплагиат». Оригинальность рукописи должна быть не менее 70 %, в противном случае рукопись будет возвращена без права опубликования. При обнаружении нарушения авторских прав или плагиата будет проведена ретракция опубликованных статей в соответствии с правилами COPE.

Технические требования к оформлению рукописи

Файл в формате *.doc и *.pdf. Формат листа – А4 (210 x 297 мм), все поля по 20 мм. Шрифт: размер (кегель) – 12, тип – Times New Roman. Межстрочный интервал – одинарный. Абзацный отступ – 1,0 мм.

Редактор формул – MathTypeEquation (версии 5-7). Шрифт в стиле основного текста – Times New Roman; переменные – курсив, греческие – прямо, матрица-вектор – полужирный; русские – прямо. Размеры в математическом редакторе (в порядке очередности): обычный – 12 pt, крупный – индекс – 8 pt, мелкий индекс – 7 pt, крупный символ – 14 pt, мелкий символ – 10 pt.

Рисунки, выполненные в графическом редакторе, подавать исключительно в форматах *.jpeg, *.doc (сгруппированные, толщина линии не менее 0,75 pt). Ширина рисунка – не более 11,5 см. Они размещаются в рамках рабочего поля. Рисунки должны допускать перемещение в тексте и возможность изменения размеров. Используемое в тексте сканированное изображение должно иметь разрешение не менее 300 точек на дюйм. Сканированные формулы, графики и таблицы не допускаются. Форматирование номера рисунка и его названия:

шрифт – обычный, размер – 12 пт, выравнивание – по центру. Обратите внимание, что в конце названия рисунка точка не ставится.

Таблицы в тексте должны быть выполнены в редакторе Microsoft Word (не отсканированные и не в виде рисунка). Таблицы должны располагаться в пределах рабочего поля. Форматирование номера таблицы и ее названия: шрифт – обычный, размер – 12 пт, выравнивание – по центру. Обратите внимание, что в конце названия таблицы точка не ставится. Содержимое таблицы – шрифт обычный, размер – 11 пт, интервал – одинарный.

Все страницы рукописи с вложенными таблицами и рисунками должны быть пронумерованы (в счет страниц рукописи входят таблицы, рисунки, подписи к рисункам, список источников, сведения об авторах).

Минимальное количество страниц в статье – 6.

Максимальное количество страниц – 20.

Редакция оставляет за собой право не включать в журнал статьи, не соответствующие требованиям (в том числе к объему текста, оформлению таблиц и иллюстраций).

Авторские права

Авторы имеют возможность лично просмотреть электронный макет статьи перед выпуском журнала и внести последние правки. Отсутствие ответа со стороны авторов снимает ответственность редакции за недочеты в статье. Редакция оставляет за собой право производить необходимую правку и сокращения по согласованию с автором. Рукописи не возвращаются. Авторы не могут претендовать на выплату гонорара. Авторы имеют право использовать материалы журнала в их последующих публикациях при условии, что будет сделана ссылка на публикацию в журнале «Агропромышленные технологии Центральной России».

Рубрики

Объем и рубрики каждого номера журнала «Агропромышленные технологии Центральной России» варьируются в зависимости от содержания поступившего материала, тематики, задач. Основные рубрики журнала и соответствие их номенклатуре научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени:

- Технология хранения и переработки сельскохозяйственных продуктов (4.3.3. Пищевые системы (технические науки))
- Общее земледелие и растениеводство (4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки))
- Агроинженерные системы и технологии (4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки))
- Агроэкология и рациональное природопользование (4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки))

Комплектность материалов, направленных для публикации в журнал

- рукопись статьи (*.doc и *.pdf);
- рецензия доктора наук по научному направлению статьи, подписанная и обязательно заверенная печатью организации;
- справка из отдела аспирантуры для подтверждения статуса аспиранта (для бесплатной публикации);
- копия договора подготовки в докторантуре ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина» для подтверждения статуса докторанта (для бесплатной публикации).

Оплата редакционно-издательских услуг

Реквизиты для оплаты

ИНН: 4821004595

КПП: 482101001

БИК: 014206212

БАНК ПОЛУЧАТЕЛЯ ПЛАТЕЖА: Отделение Липецк/УФК по Липецкой области, г. Липецк

ПОЛУЧАТЕЛЬ ПЛАТЕЖА: УФК по Липецкой области (ЕГУ им. И.А. Бунина, л/с 20466X13800)

ЕДИНЫЙ КАЗНАЧЕЙСКИЙ СЧЕТ: 40102810945370000039

КАЗНАЧЕЙСКИЙ СЧЕТ: 03214643000000014600

ОКОНХ 92110

ОКПО 02079537

ОКТМО 42715000

КБК 000000000000000000130 (доходы от оказания платных услуг (работ))

Оплата редакционно-издательских услуг **500 руб. за 1 стр.**

Назначение платежа: за выполнение редакционно-издательских услуг, «Агропромышленные технологии Центральной России, ФИО плательщика».

После оплаты Заказчику необходимо направить на электронный адрес agropromelets@mail.ru сканированную квитанцию об оплате, а также почтовый адрес для отправки журнала.

Автор статьи имеет право на получение одного журнала бесплатно вне зависимости от количества соавторов. Информация о приобретении дополнительного экземпляра сообщается заранее, экземпляр оплачивается по каталожной цене журнала.

Право на бесплатную публикацию в журнале имеют:

все аспиранты, докторанты ФГБОУ ВО Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина», **члены редакционной коллегии журнала** «Агропромышленные технологии Центральной России», **ведущие ученые**, статьи которых имеют высокую научно-практическую значимость (по согласованию с заместителями главного редактора и после утверждения главным редактором).

Ведущими учеными признаются лица, имеющие следующие документально подтвержденные результаты научной деятельности за 5 лет, предшествующие публикации: 1) количество статей в международных цитатно-аналитических базах данных Web of Science и Scopus – не менее 5; 2) количество статей в Перечне рецензируемых научных изданий РФ, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, доктора наук на основании данных РИНЦ («Перечень ВАК») – не менее 8; 3) количество рецензируемых монографий в области знаний, соответствующих научной специальности ученого, – не менее 1; 4) индекс Хирша – не менее 10.

В одном номере журнала принято ограничение на количество бесплатных публикаций:

- количество публикаций аспирантов и докторантов не должно превышать 5 статей;
- количество публикаций членов редакционной коллегии не должно превышать 5 статей;
- количество публикаций ведущих ученых не должно превышать 3 статей.

РЕЦЕНЗИРОВАНИЕ

Порядок рецензирования рукописей научных статей, поступивших в редакцию журнала «Агропромышленные технологии Центральной России».

1. Рукописи научных статей, поступившие в редакцию, проходят обязательное рецензирование с целью их экспертной оценки.

2. Председатель редакционного совета определяет соответствие рукописи статьи профилю журнала и требованиям к оформлению.

3. После рассмотрения рукописи статьи на заседании редакционной коллегии рукопись направляется на рецензирование специалисту (доктору или кандидату наук), имеющему наиболее близкую к теме статьи научную специализацию. Все рецензенты являются признанными специалистами по тематике рецензируемых материалов и имеют в течение последних 3 лет публикации по тематике рецензируемых статей. Если статья не соответствует профилю журнала, то автору сообщается о невозможности ее публикации.

4. Тип рецензирования — двустороннее слепое (анонимное). Присланные рецензентам рукописи являются частной собственностью авторов и содержат сведения, не подлежащие разглашению. Рецензентам не разрешается делать копии статей, а также передавать статьи на рецензирование другому лицу.

5. Срок рецензирования составляет не более четырех недель.

6. Рецензент оценивает:

соответствие содержания статьи ее названию; структуру статьи (предмет исследования, постановка задачи, ход проведения исследований, результаты и выводы); наличие в статье научной или технической новизны; достоинства и недостатки статьи.

7. Рецензент дает заключение о целесообразности публикации статьи:

принять статью; принять статью с незначительной доработкой – автору направляется текст рецензии с предложением внести необходимые изменения и дополнения в статью или аргументировано опровергнуть замечания рецензента, затем рукопись статьи рассматривается на заседании редакционной коллегии на предмет выполнения требований рецензента; рассмотреть статью повторно после серьезной переработки – автору направляется текст рецензии с предложением переработки статьи, затем переработанная автором статья направляется на повторное рецензирование; отклонить статью – мотивированный отказ направляется автору, к повторному рассмотрению статья не принимается.

8. Текст рецензии предоставляется автору по его запросу, а также в Высшую аттестационную комиссию РФ по соответствующему запросу без подписи и указания фамилии, должности и места работы рецензента.

9. Рукописи статей, принятых к публикации, автору не возвращаются.

10. Рукописи статей, не принятых к публикации, вместе с текстом мотивированного отказа, возвращаются автору.

11. Рецензии, а также все сопроводительные документы (авторское заявление, экспертное заключение) хранятся в Издательстве и в редакции журнала в течение 5 лет.

Процедура рецензирования и утверждения статей занимает от одного до двух месяцев, далее статьи публикуются в порядке очередности. Редакция может принимать решение о внеочередной публикации статьи.

Подготовка статьи к публикации, проводимая редакцией журнала, состоит в литературном и техническом редактировании. Редакторские правки согласуются с авторами.

Научное издание

АГРОПРОМЫШЛЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ

Выпуск 1 (№ 35)

*Корректор – С.Е. Гридчина
Техническое исполнение – В.М. Гришин*

Знак информационной продукции 12+

Подписано в печать: 24.03.2025

Дата выхода в свет: 25.03.2025

Бумага формат А-4 (72,0 п.л.)

Гарнитура Times

Печать трафаретная

Тираж 1000 экз. Заказ № 17

Свободная цена

Адрес редакции:

399770, Липецкая область, г. Елец, ул. Допризывников, 1

Адрес издателя:

399770, Липецкая область, г. Елец, ул. Коммунаров, 28,1

E-mail: agropromelets@mail.ru

Сайт журнала: [www. http://elsu.ru/agrotech](http://elsu.ru/agrotech)

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору
в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Регистрационный номер средства массовой информации

ПИ № ФС77-67628 от 10 ноября 2016 г.

Подписной индекс журнала № **64988** в объединенном каталоге
«Пресса России»

Отпечатано с готового оригинал-макета на участке оперативной полиграфии

Елецкого государственного университета им. И.А. Бунина

399770, Липецкая область, г. Елец, ул. Коммунаров, 28,1

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина,

399770, Липецкая область, г. Елец, ул. Коммунаров, 28, 1