

№4 2021

ISSN 2072-9669 eISSN 2658-767X
Хранение и переработка сельхозсырья
Storage and Processing of Farm Products

ХИППС

SPFP

Пищевые системы. Здоровьесберегающие и
Биотехнологии.



ХиПС

Теоретический и научно-практический журнал

№ 4 – 2021

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

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

Редакция

Заведующий редакцией – Тихонова Елена Викторовна
Выпускающий редактор – Шленская Наталья Марковна
Медийный редактор – Вохминцева Елена Павловна

ISSN 2072–9669

eISSN 2658–767X

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

Индекс журнала по каталогу «Газеты. Журналы» АО Агентство «Роспечать» – **71256/71370**.

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

- 05.00.00 – Технические науки;
- 05.18.00 – Технология продовольственных продуктов;
- 05.20.00 – Процессы и машины агроинженерных систем;
- 06.00.00 – Сельскохозяйственные науки;
- 06.01.00 – Агрономия.

Журнал включен в международную базу данных публикаций на базе Web of Science – Russian Science Citation Index (**RSCI**).

Адрес:

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

Отпечатано в типографии:

ООО «Информационно-Технологический центр»
Адрес: Российская Федерация, 105203, г. Москва, ул. Нижняя Первомайская, д. 44
Формат 60×84 1/8. Печать офсетная. Бумага офсетная. Тираж 500 экз. Подписано в печать 20.12.2021. Свободная цена.

© Ф.Б.У ВО «Московский государственный университет пищевых производств», 2021

SPFP

Theoretical and Research & Practice Journal

№ 4 – 2021

Periodicity of publication – 4 issues per year
Published since 1993

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

Editorial Team

Head of Editorial Team – Elena V. Tikhonova
Editor of Issue – Natalia M. Shlenskaya
Social Media and Product Editor – Elena P. Vokhmintseva

ISSN 2072–9669

eISSN 2658–767X

The Journal is registered by the Federal Service for Supervision in the Sphere of Communication, Information Technologies and Mass Media. The Mass Media Registration Certificate **PI No FS77–71128** dated September 22, 2017.

Index of the Journal by catalogue «Newspapers. Journals» J.C.Agency «Rospechat» – **71256/71370**.

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

- 05.00.00 – Technical sciences;
- 05.18.00 – Technology of food products;
- 05.20.00 – Processes and machines of agroengineering systems;
- 06.00.00 – Agricultural sciences;
- 06.01.00 – Agronomy.

Indexed by Web of Science – Russian Science Citation Index (**RSCI**).

Address:

11, Volokolamskoe shosse, Moscow, Russian Federation, 125080
Tel. +7 (499) 750–01–11*6585
E-mail: info@spfp-mgupp.ru
Official web site of Founder: mgupp.ru
Official web site of the Editorial Office: spfp-mgupp.ru

Printed in the Publishing House:

«Information and Technology Center» Ltd.
Address: 44, Nizhnyaya Pervomayskaya, Moscow, Russian Federation, 105203
Format 60×84 1/8. Seal offset. Offset paper. 500 copies. Signed in print 20.12.2021. Free price.

© F.B.I HE «Moscow State University of Food Production», 2021

Редакционный совет

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

Члены редакционного совета:

Аксёнова Лариса Михайловна	академик РАН. ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, vniitek@vniitek.ru
Акулич Александр Васильевич	заслуженный изобретатель Республики Беларусь, доктор технических наук, профессор. Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, akulichav57@mail.ru
Андреев Николай Руфеевич	член-корреспондент РАН. ВНИИ крахмалопродуктов - филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, vniik@arrisp.ru
Горлов Иван Федорович	академик РАН. Поволжский НИИ производства и переработки мясо-молочной продукции, niimpr@mail.ru
Гудковский Владимир Александрович	академик РАН. Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина, info@fnc-mich.ru
Добровольский Виктор Францевич	доктор технических наук. НИИ пищевых концентратной промышленности и специальной пищевой технологии - филиал ФИЦ питания и биотехнологии, gnuinippspt@gmail.com
Донник Ирина Михайловна	академик РАН, доктор ветеринарных наук, профессор. Российская академия наук, imdonnik@presidium.ras.ru
Косован Анатолий Павлович	академик РАН. НИИ хлебопекарной промышленности, info@gosnihp.ru
Коста Руи	доктор технических наук. Португальский технический институт, ruicosta@esac.pt
Лисицын Александр Николаевич	доктор технических наук. ВНИИ жиров, vniig@vniig.org
Лисицын Андрей Борисович	академик РАН. ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, info@vniimp.ru
Мелешкина Елена Павловна	доктор технических наук. ВНИИ зерна и продуктов его переработки – филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, mer5@mail.ru
Никитюк Дмитрий Борисович	член-корреспондент РАН, доктор медицинских наук, профессор. ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии», nikitjuk@ion.ru
Оганесянц Лев Арсенович	академик РАН. ВНИИ пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности – филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, institute@vniinapitkov.ru
Панфилов Виктор Александрович	академик РАН. Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, vap@timacad.ru
Петров Андрей Николаевич	академик РАН. ВНИИ технологии консервирования – филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, vniitekpetrov@vniitek.ru
Симоненко Сергей Владимирович	доктор технических наук. НИИ детского питания – филиал ФИЦ питания и биотехнологии, niidp@rambler.ru
Титов Евгений Иванович	академик РАН. ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», titov@mgupp.ru
Тужилкин Вячеслав Иванович	член-корреспондент РАН. ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», tvl@mgupp.ru
Тутельян Виктор Александрович	академик РАН, доктор медицинских наук, профессор. ФГБНУ «ФИЦ питания и биотехнологии», tutelyan@ion.ru
Уша Борис Вениаминович	академик РАН. ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», vet-san-dekanat@yandex.ru
Харитонов Владимир Дмитриевич	академик РАН. ВНИИ молочной промышленности, gnu-vnimi@yandex.ru
Храмцов Андрей Георгиевич	академик РАН. Северо-Кавказский федеральный университет, hramtsov@nsctu.ru
Щетинин Михаил Павлович	доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», shchetininmihail@mgupp.ru

Editorial Board

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

Members of the Editorial Board:

Larisa M. Aksyonova	Academician of RAS, Federal Scientific Center of Food Systems named after V.M. Gorbatova of RAS, vniitek@vniitek.ru
Alexander V. Akulich	Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, akulichav57@mail.ru
Nikolay R. Andreev	Corresponding Member of RAS, All-Russian Research Institute of Starch - branch of the Federal Scientific Center of Food Systems named after V.M. Gorbatova of RAS, vniik@arrisp.ru
Ivan F. Gorlov	Academician of RAS, Povolzhskiy Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products, niimmp@mail.ru
Vladimir A. Gudkovskiy	Academician of RAS, Federal Scientific Center named after I.V. Michurin, info@fnc-mich.ru
Viktor F. Dobrovoilskiy	Doctor of Technical Science, Research Institute of Food Concentrates Industry and Special Food Technology - branch of the Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology, gnumiipspt@gmail.com
Irina M. Donnik	Academician of RAS, Doctor of Veterinary Science, Professor. Russian Academy of Sciences, imdennik@presidium.ras.ru
Anatoliy P. Kosovan	Academician of RAS, State Research Institute of Baking Industry, info@gosnihp.ru
Rui Costa	Doctor of Technical Science, Portuguese Technical Institute, ruicosta@esac.pt
Aleksandr N. Lisitsyn	Doctor of Technical Science, All-Russian Research Institute of Fats, vniig@vniig.org
Andrey B. Lisitsyn	Academician of RAS, Federal Scientific Center of Food Systems named after V.M. Gorbatova of RAS, info@vniimp.ru
Elena P. Meleshkina	Doctor of Technical Science, All-Russian Research Institute of Grain and Products of Its Processing - branch of the Federal Scientific Center of Food Systems named after V.M. Gorbatova of RAS, mep5@mail.ru
Dmitry B. Nikityuk	Corresponding Member of RAS, Doctor of Medical Science, Professor. Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology, nikitjuk@ion.ru
Lev A. Oganesyants	Academician of RAS, All-Russian Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industries - branch of the Federal Scientific Center of Food Systems named after V.M. Gorbatova of RAS, institute@vniinapitkov.ru
Viktor A. Panfilov	Academician of RAS, Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, vap@timacad.ru
Andrey N. Petrov	Academician of RAS, All-Russian Research Institute of Technology Canning - branch of the Federal Scientific Center of Food Systems named after V.M. Gorbatova of RAS, vniitekpetrov@vniitek.ru
Sergey V. Simonenko	Doctor of Technical Science, Research Institute of Baby Nutrition - branch of the Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology, niidp@rambler.ru
Evgeny I. Titov	Academician of RAS, Moscow State University of Food Production, titov@mgupp.ru
Vyacheslav I. Tuzhilkin	Corresponding Member of RAS, Moscow State University of Food Production, tvi@mgupp.ru
Victor A. Tutelyan	Academician of RAS, Doctor of Medical Science, Professor. Federal Research Center for Nutrition and Biotechnology, tutelyan@ion.ru
Boris V. Usha	Academician of RAS, Moscow State University of Food Production, vet-san-dekanat@yandex.ru
Vladimir D. Kharitonov	Academician of RAS, All-Russian Research Institute of Dairy Industry, gnu-vnimi@yandex.ru
Andrey G. Khramtsov	Academician of RAS, North-Caucasus Federal University, hramtsov@nsctu.ru
Mikhail P. Schetinin	Doctor of Technical Science, Professor, Moscow State University of Food Production, shchetininmihail@mgupp.ru

СОДЕРЖАНИЕ

ОТ РЕДАКТОРА

Тихонова Е.В., Шленская Н.М.

Препринты и постпринты в создании ландшафта эффективной научной коммуникации 8

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ХРАНЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ СЕЛЬХОЗПРОДУКЦИИ

Шевченко Т.В., Устинова Ю.В., Плотников К.Б., Попов А.М., Жалнина А.А.

Микроволновая модификация углеводов 18

Петров Н.Ю., Бикметова К.Р.

Обзор способов обработки картофеля перед закладкой на длительное хранение 32

ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ СЕЛЬХОЗПРОДУКЦИИ

Соколов С.А., Яшонков А.А.

Анализ дисперсного состава яичного белка методом микроскопирования 48

Шариков А.Ю., Иванов В.В., Амелякина М.В., Середа А.С., Поливановская Д.В.

Биокатализ крахмала кукурузы термостабильной α -амилазой в двухшнековом экструдере 64

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ И ПРОДУКЦИИ АПК

Кондратьев Н.Б., Баженова А.Е., Руденко О.С., Осипов М.В., Лаврухин М.А.

Факторы хранения глазированных конфет с пралиновыми корпусами при различных температурах хранения 76

Гиёсзода А., Степанова Э.Ф., Шаропов Ф.С., Бобизода Г.М., Назаров У.А.

Исследование фитохимической платформы ряда растений, обладающих антидиабетическим эффектом 89

БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

Комаров А.А., Енгашев С.В., Енгашева Е.С., Удавлиев Д.И., Егоров М.А., Уша Б.В., Селимов Р.Н., Гламаздин И.Г.

Амоксициллин и янтарная кислота: Эффективные лекарственные средства для защиты здоровья животных (обзор) 98

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Гапонова Л.В., Полежаева Т.А., Матвеева Г.А., Блинова Е.В., Лоскутов И.Г.

Подходы к разработке технологий получения белково-липидно-углеводных композиций из сортов овса и ячменя со сбалансированным нутриентным составом 118

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Дранников А.В., Тертычная Т.Н., Шевцов А.А., Засыпкин Н.В.

Генерация альтернативной энергии в производстве хлебобулочных изделий с применением теплового насоса 132

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ХРАНЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ СЕЛЬХОЗПРОДУКЦИИ

Балыхин М.Г., Астраханцева Е.Ю.

Цифровизация – основной вектор развития сельского хозяйства России 146

СЫРЬЕ И ДОБАВКИ

Акулич А.В., Самуйленко Т.Д., Тимакова Р.Т.

Разработка компонентного состава сухих композитных смесей для заварных сортов хлеба улучшенной пищевой ценности 158

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ НАУКИ В АПК

Логонова Н.Ю.

Использование методов кластеризации фазовых портретов при обработке больших данных 172

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ПРОДУКЦИИ АПК

Музыка М.Ю., Благовещенская М.М., Благовещенский И.Г., Аднодворцев А.М., Веселов М.В.

Оценка возможности использования системы технического зрения для контроля маркировки готовой молочной продукции 187

CONTENT

EDITORIAL

- E. Tikhonova, N. Shlenskaya**
Preprints and Postprints in Creating a Landscape for Effective Scientific Communication 16

THEORETICAL ASPECTS OF FARM PRODUCTS STORAGE AND PROCESSING

- T. Shevchenko, Y. Ustinova, K. Plotnikov, A. Popov, A. Zhalnina**
Microwave Modification of Carbohydrates 29

- N. Petrov, K. Bikmetova**
Overview of Methods of Processing Potatoes before Laying for Long-Term Storage 44

PHYSICAL AND CHEMICAL METHODS OF FARM RAW MATERIAL PROCESSING

- S. Sokolov, A. Yashonkov**
Analysis of the Dispersed Composition of Egg White by Microscopy 61

- A. Sharikov, V. Ivanov, M. Amelyakina, A. Sereda, D. Polivanovskaya**
Biocatalysis of Corn Starch with Thermostable α -amylase in Twin-screw Extruder 73

RESEARCH ON TRAITS OF SUBSTANCES AND AGRIBUSINESS PRODUCTS

- N. Kondratyev, A. Bazhenova, O. Rudenko, M. Osipov, M. Lavrukhin**
Influence of Various Factors on the Quality of Glazed Sweets during Storage 86

- A. Giyozoda, E. Stepanova, F. Sharopov, G. Bobizoda, U. Nazarov**
Investigation of the phytochemical platform of some plants with antidiabetic effect 95

BIOTECHNOLOGICAL AND MICROBIOLOGICAL ASPECTS

- A. Komarov, S. Engashev, E. Engasheva, D. Udavliev, M. Egorov, B. Usha, R. Selimov**
Amoxicillin and Acidic Acid: Effective Medicines for Animal Health Protection 111

DESIGNING AND MODELLING THE NEW GENERATION FOODS

- L. Gaponova, T. Polezhaeva, G. Matveeva, E. Blinova, I. Loskutov**
Selection of Oats and Barley Varieties for the Production of Protein-lipid-carbohydrate Compositions with a Balanced Nutrient Composition 128

TECHNOLOGICAL PROCESSES, MACHINES AND EQUIPMENT

- A. Drannikov, T. Tertychnaya, A. Shevtsov, N. Zasyplin**
Generation of Alternative Energy in Production Bakery Products with the use of Heat Pump 143

ECONOMIC PROBLEMS OF STORAGE AND PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTS

- M. Balykhin, E. Astrakhantseva**
Digitalization is the main vector of development Russian agriculture 156

RAW MATERIALS AND ADDITIVES

- A. Akulich, T. Samuylenko, R. Timakova**
Development of the Component Composition of Dry Composite Mixtures for National Types of Bread of Improved Nutritional Value 169

URGENT PROBLEM OF SCIENCE DEVELOPMENT IN AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX

- N. Logunova**
Forecasting the Development of the Sectoral Economic System of Bakery Industry Enterprises Based on Clustering Methods of Phase Portraits 184

CONTROL OVER QUALITY AND SAFETY OF AGRIBUSINESS PRODUCTS

- M. Music, M. Blagoveshchenskaya, I. Blagoveshchensky, A. Adnodvortsev, V. Blagoveshchensky**
A. Buneev
Assessment of the Possibility of Using the System Technical Vision for Marking Control Finished Dairy Products 201

Препринты и постпринты в создании ландшафта эффективной научной коммуникации

Тихонова Елена Викторовна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
Адрес: 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11
E-mail: etihonova@mgupr.ru

Шленская Наталия Марковна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
Адрес: 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11
E-mail: n.shlenskaya@mgupr.ru

Препринты становятся все более популярными, позволяя ученым оперативно обмениваться информацией. Авторы размещают препринты в открытом доступе, чтобы ускорить процесс публикации результатов реализованных исследований. С препринтами связывают как положительные (ускорение процесса обмена научной информацией, получение большего объема обратной связи от коллег, развитие открытого доступа к науке и др.), так и отрицательные тенденции (недобросовестность авторов, отсутствие системы выстраивания автоматических связей между препринтом и опубликованной на его основе статьи и др.) в контексте научной коммуникации. Вместе с тем, научное сообщество активно обсуждает варианты оптимальной инкорпорации препринтов в систему обмена и распространения информации, полагая в качестве неоспоримого факта востребованность института препринтов. Целью данной статьи является описание сложившегося *status quo* в сфере препринтов для российских исследователей всех сфер пищевой промышленности. Авторами проанализированы публикации на указанную тематику с тем, чтобы выделить основные тренды в анализируемой проблематике с фокусом на сценарии дальнейшего развития архитектуры инкорпорации препринтов и постпринтов в научное знание.

Ключевые слова: препринт, постпринт, пищевая промышленность, обмен знаниями, выстраивание связей

Скорость обмена научной информацией постоянно увеличивается, и механизмы, обеспечивающие ее качество, максимально востребованы. Под препринтом принято понимать рукопись научной статьи, предшествующую публикации в рецензируемом журнале (Narock & Goldstein, 2019; Вахрушев, 2018). Подобная работа находится в открытом доступе, то есть доступна для чтения и копирования любому количеству заинтересованных читателей, до рецензирования, редактирования и издательской обработки. За счет этого, препринты, анонсируемые читателю, максимально ускоряют распространение полученных авторами результатов (Зельдина, 2020; Moustafa, 2021; Косычева & Тихонова, 2020).

Принципиальное отличие препринта от журнальной статьи - статус. Статья, опубликованная в научном журнале, обязательно проходит процесс рецензирования, что обеспечивает качество пред-

ставленных результатов¹. Препринты являются научными документами, доступными за пределами традиционной структуры, управляемой издателем. Цель размещения препринта - получение комментариев и выявление возможных недочетов рукописи перед публикацией (Moshontz et al., 2021; Schloss, 2017).

Однако, восприятие препринта исключительно как издания, не прошедшего рецензирования, уходит в прошлое. В России препринту возвращают то доверие, которое существовало к нему в 1950–1960-е годы. Многие институты Академии наук выпускали в указанный период печатные препринты, подготовленные сотрудниками. В Институте прикладной математики (ИПМ) им. М.В. Келдыша РАН издавались тиражи препринтов, для передачи в академические институты и Книжную палату с целью формирования фондов научных

¹ В России пока нет устоявшейся практики размещения препринтов. (2019). <https://indicator.ru/humanitarian-science/interviyu-kuznetsov.htm>

библиотек (Полилова, 2021). На сайте хранилища препринтов Института прикладной математики представлены оцифрованные препринты, выпускавшиеся как научное издание «Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша» с 1967 года², которое с 2015 года было включено в Перечень рецензируемых научных изданий, где должны быть опубликованы основные результаты исследований.

М.М. Горбунов-Посадов (2014) отмечает, что представление статьи в формате препринта превагирует над печатной версией. Формат позволяет улучшать и совершенствовать рукопись, внося в текст изменения, рекомендованные добровольными рецензентами (Schloss, 2017), которым может оказаться интересным вернуться к первоначальному тексту препринта спустя время, чтобы отследить, какие изменения он претерпел (Горбунов-Посадов, 2014). Зачастую препринты сопровождаются форумом, где читатели могут задавать вопросы и оставлять комментарии. Но даже если подобный форум отсутствует, читатели-ученые могут связаться с автором по электронной почте, что упрощает научное общение³.

М.М. Зельдина (2020) выделяет ключевые даты пяти этапов развития препринтов, определяя их с помощью литературных источников – 1 этап – 1940–1960 гг. (развитие препринтов, как способов неформальных коммуникаций), 2 этап – 1970–1980 гг. (распространение препринтов в области физики высоких энергий), 3 этап – 1990–2010 гг. (появление крупных серверов препринтов), 4 этап – 2013–2019 гг. (вторая волна развития препринтов), 5 этап – с 2020 г. (взрывной рост числа препринтов).

(1) Препринты становятся одним из способов неформальной коммуникации в 1940–1960-е гг. Группы ученых проводят дискуссии о применении подобного способа обмена научными знаниями и осуществляют эксперименты для оценки эффективности формата препринтов. В 1945 г. было внесено предложение реформировать издание журналов, объединив существующие научные общества, так, чтобы препринты эффективнее распространялись среди их членов (Phelps & Herling, 1960). Результатом этих трансформаций стало создание в 1949 году центра обмена информацией в области медицинских наук (Wykle, 2014).

(2) В 1970–1980-е гг. препринтами, для ускорения обмена новыми знаниями, активно начинают пользоваться ученые в области физики высоких энергий (Till, 2001).

(3) В 1990–2010-е гг. создается первый сервер препринтов по физике, астрономии, математике, биологии и компьютерным наукам (создатель Пол Гинспарг, <http://arXiv.org> (1991 г.) и в 1994 г. – хранилище препринтов по социальным и гуманитарным наукам (Social Science Research Network). Обсуждается возможность создания системы, аналогичной ArXiv, для биологов (Ginsparg, 2016). Первый сервер медицинских препринтов (ClinMedNetPrints.org) работал с 1999 по 2008 г. и опубликовал до закрытия 80 препринтов (Зельдина, 2020).

(4) В 2013–2019 гг.⁴ наблюдается рост интереса к препринтам (вторая волна развития препринтов). Появляется сервер биомедицинских препринтов BioRxiv (2013 г.). Во многих странах создаются национальные серверы препринтов. Комитет по этике научных публикаций (COPE) регламентирует процесс издания и распространения препринтов⁵. В 2018–2019 гг. появляются платформы, на которых можно давать оценку препринтам (PreReview, medRxiv, agriRxiv и др.). Грантодатели поддерживают публикации препринтов, их наличие в качестве промежуточных результатов приветствуется при подаче заявок (Зельдина, 2020; Moshontz et al., 2021). В связи с этим Национальные институты здравоохранения США (US National Institutes of Health) и Wellcome Trust позволяют исследователям цитировать препринты в заявках на гранты⁵.

(5) С 2020 г., вследствие пандемии COVID-19, наблюдается взрывной рост публикаций препринтов и их размещение на специализированных сайтах. Большинство редакций журналов пересмотрели политику размещения препринтов, издатели демонстрируют поддержку этому движению, например, журнал Ланцет (The Lancet⁶). Препринты этого журнала размещаются на сайте Preprints with The Lancet на платформе SSRN⁷. Журналы Journal of Agricultural and Food Chemistry, Food Chemistry, Foods, Journal of Functional Foods сообщают, что препринты могут быть опубликованы

² Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша. <http://library.keldysh.ru/preprints/>

³ Preprints. (2018). https://publicationethics.org/files/u7140/COPE_Preprints_Mar18.pdf

⁴ Johnson, R., & Chiarelli, A. (2019). The second wave of preprint servers: How can publishers keep afloat. <https://scholarlykitchen.sspnet.org/2019/10/16/the-second-wave-of-preprint-servers-how-can-publishers-keep-afloat/>

⁵ What Are Preprints, and How Do They Benefit Authors. <https://www.aje.com/arc/benefits-of-preprints-for-researchers/>

⁶ Preprints. <https://www.thelancet.com/preprints>

⁷ Preprints with The Lancet. <https://www.ssrn.com/index.cfm/en/the-lancet/>

в любом месте и в любое время в соответствии с политикой совместного использования Elsevier⁸. На сайте издательского дома Elsevier указано, что авторы могут обновлять свои препринты, но они не могут быть эквивалентны окончательной версии статьи. Размещение препринтов поддерживают издатели: Springer, Routledge, Wiley, Sage и др. (Moshontz et al., 2021).

Авторы могут размещать на платформах препринтов не только препринты, но и постпринты.

Препринт и постпринт означают публикацию автором на признанных серверах версии научной работы, в первом случае – до или параллельно с подачей на формальный экспертный контроль в научном журнале (препринт), во-втором – после прохождения редакционного цикла правок, но до официальной публикации статьи (постпринт) (De Vasconcellos & Da Costa de-Lorenzi, 2020; Moshontz et al., 2021).

Обычно такие статьи имеют статус «в печати». Библиотека университета Queen Mary University of London определяет постпринт как версию рукописи после того, как она прошла рецензирование и была принята к публикации, но еще до того, как она была набрана и отформатирована журналом⁹. Дальнейшие изменения форматирования от издателя могут включать: добавление логотипов, дополнительных столбцов, заголовков и нижних колонтитулов, набор текста изменения шрифта и т.п. Часто термин «препринт» используется в общем виде, это понятие включает в себя то, что мы затем определяем и как «постпринт» (De Vasconcellos & Da Costa de-Lorenzi, 2020).

Иногда разрешение на размещение постпринтов имеет период эмбарго в 6 месяцев или год и может сопровождаться дополнительными требованиями, например, о включении информации об авторских правах издателя на титульную страницу постпринта (Moshontz et al., 2021).

Основным преимуществом постпринта является отсутствие необходимости ждать официальной публикации в журнале, сроки которой, могут зависеть, от количества статей в очереди или тематических приоритетов журнала (De Vasconcellos & Da Costa de-Lorenzi, 2020).

Преимущества публикации препринтов

Многие авторы указывают на неоспоримые преимущества, связанные со скоростью публикации препринта и расширение возможностей открытого доступа к научным данным (Narock & Goldstein, 2019; Ноу, 2020; Yi & Huh, 2021). Распространение работы через журналы занимает месяцы или годы, требует одобрения от редакторов журналов и приводит к публикации профессионально отформатированной, рецензируемой версии статьи (Moshontz et al., 2021). Размещение препринтов является способом устранения этих барьеров на пути распространения знаний (De Vasconcellos & Da Costa de-Lorenzi, 2021).

Серверы препринтов доступны каждому заинтересованному исследователю через Интернет¹⁰ и являются одним из эффективных инструментов сокращения неравенства и содействия свободному и законному распространению научной информации (Moustafa, 2021).

Авторы всегда имеют возможность обновить препринтные версии рукописей в соответствии с полученными комментариями (Moustafa, 2021). Многие научные репозитории позволяют добавлять новые версии препринтов, сохраняя при этом все существующие (Moshontz et al., 2021).

Авторы могут (по согласованию с редакцией) размещать последние версии рукописей, принятые к публикации в журнале (постпринты) для получения дополнительной обратной связи перед публикацией. Использование постпринта при ссылке на авторскую версию опубликованной работы (Moshontz et al., 2021) помогает получить доступ к публикации в ее последней версии (Narock & Goldstein, 2019).

Препринтам и постпринтам присваивают идентификатор цифрового объекта (DOI), включая первичную и последующие версии, что обеспечивает его продвижение как цитируемого продукта (Moshontz et al., 2021). Препринт обычно не включается в официальные научные метрики. Например, серверы препринтов не имеют импакт-фактора, а статьи, опубликованные на них, как правило, не учитываются в начислении бал-

⁸ *Article Sharing*. <https://www.elsevier.com/about/policies/sharing>

⁹ *Understanding versions of your paper*. <https://www.qmul.ac.uk/library/research/open-access/open-access-and-the-ref/understanding-versions-of-your-paper/>

¹⁰ *Preprints*. (2018). https://publicationethics.org/files/u7140/COPE_Preprints_Mar18.pdf

лов в рамках эффективного контракта, назначении стипендий и др., хотя такой сценарий может измениться в будущем (de Vasconcellos & da Costa de-Lorenzi, 2021).

На сайте Scopus в январе 2021 года появилось сообщение, что препринты стали включать в профили авторов, что помогает пользователям Scopus узнать о последних работах исследователей. Препринты загружаются с серверов arXiv, bioRxiv, ChemRxiv, medRxiv и SSRN. По состоянию на сентябрь 2021 года в профили авторов Scopus добавлено более 900 тысяч препринтов. При этом препринты не влияют на существующие показатели публикации и цитирования¹¹.

Публикация работы в формате препринта на любом этапе процесса рецензирования ускоряет распространение результатов исследования по сравнению с ожиданием её публикации в журнале. Рукописи, размещенные в качестве препринтов, как правило, начинают цитировать раньше, к тому же они имеют более высокий индекс цитирования в долгосрочной перспективе (Berg et al., 2016; Fraser et al., 2020) и привлекают больше внимания. Так, статьи с arXiv имеют значительное преимущество в цитировании в WoS, Scopus и Google Scholar (Wang et al., 2020). После опубликования препринта авторы могут распространить веб-ссылку и пригласить профильных ученых, к обсуждению работы.

Важным преимуществом публикации препринтов и препринтов является расширение законного доступа к научным исследованиям и сокращение использования учеными хакерских каналов (например, Sci-Hub), где недоступна информация об использовании статьи (количество загрузок, просмотров, цитирование и т. д.) (Moustafa, 2021).

Наличие препринтов способствует развитию сотрудничества между учеными и исследовательскими группами, работающими над аналогичными проектами. Некоторые спонсоры допускают включение препринтов в заявки на гранты, если размещение работы в этом формате может помочь авторам предоставить доказательства продуктивности исследований (Moshontz et al., 2021).

Издатели, которые отказываются от публикации препринтов, лишают себя возможности работы со следующими поколениями исследователей, так

как очевидно, что препринты постепенно становятся неотъемлемой частью процесса научной коммуникации (Johnson & Chiarelli, 2019; Ной, 2020, Зельдина, 2020).

Опасения, связанные с публикацией препринтов

Препринты, как правило, не рецензируются перед выходом в свет, поэтому могут содержать невалифицированные данные и описывать нерелевантные методики (Вахрушев, 2018). И даже если рукопись в конечном итоге не принята к публикации в журнале, остается постоянная, доступная широкой общественности запись препринта, распространяющего недостоверную информацию. Как правило, платформы препринтов (например, preprints.org; agrirxiv.org) информируют, что препринты не могут быть удалены, за исключением особых обстоятельств, связанных с фальсификацией данных или авторства, а также юридическими проблемами, обусловленными контентом документа¹². Авторы могут, пометить свою статью как «Отозванную», если больше не придерживаются изложенных выводов или признают в ней фундаментальные ошибки. Для отзыва статьи, нужно написать на сайт и указать причины¹³.

Опубликованные препринты должны быть свободны от каких-либо этических или юридических нюансов, а также вычитаны и одобрены всеми авторами (Moshontz et al., 2021). Далеко не все авторы препринтов, следуют этим правилам, снижая тем самым значимость формата в рамках научной коммуникации. Термин «препринт» не равнозначен любому документу, размещенному на сервере, рукопись такого документа должна соответствовать признакам научной публикации.

Публикация препринта может повлиять на процесс рецензирования. Например, препринт привлечший внимание прессы, позволит непреднамеренно идентифицировать авторов в ситуации двойного слепого рецензирования (Moshontz, 2021). Кроме того, если препринт и статья представлены в короткий временной промежуток (с интервалом менее 10 дней), то размещенные комментарии в Интернете в ответ на препринт, вряд ли приведут к изменениям в содержании рукописи, представленной в журнале (Higgins & Steiner, 2021).

¹¹ *Preprints are now in Scopus*. <https://blog.scopus.com/posts/preprints-are-now-in-scopus>

¹² *How it Works*. https://www.preprints.org/how_it_works

¹³ *About agriRxiv*. <https://agrirxiv.org/about/>

Наиболее часто исследователи высказывают следующие опасения:

(1) обмен препринтами приемлем для физиков, но это не значит, что такой способ распространения информации применим и в других областях наук (Leopold et al., 2019);

(2) пациенты не понимают разницу между препринтом и опубликованной статьей. Информация в медицинских препринтах влияет на жизнь и здоровье людей, любая ошибка может привести к фатальным последствиям (Leopold et al., 2019; Krumholz et al., 2018; Moustafa, 2021);

(3) у сомнительных рукописей появится больше возможностей для широкого распространения. Препринты не рецензируются (Teixeira da Silva, 2017), а недобросовестные авторы не будут дорабатывать уже опубликованные препринты, если рукопись статьи не примут к печати (Teixeira da Silva, 2020);

(4) информация в препринте и в статье будет дублироваться и может исказить результаты мета-анализа и, следовательно, доказательную базу обзоров. Способы отслеживания связи препринта с уже опубликованной статьей несовершенны. Не все серверы препринтов обеспечивают связь автоматически, не все авторы будут поддерживать запись о препринте в актуальном состоянии (Moshontz et al., 2021; Ide, 2021; Cabanac et al., 2021).

(5) публикация препринтов может быть оправдана при условии контроля опубликованных материалов со стороны научного сообщества (комментарии, рецензии, обсуждения), (Schloss, 2017).

(6) причина отзыва препринта не всегда указана четко, не каждая версия отозванного препринта содержит указание о его отзыве. Для решения этого вопроса нужно, чтобы на сервере для каждого препринта была создана постоянная запись, включая архив всех предыдущих версий. Если препринт изымается, причина отзыва должна быть четко и подробно указана. Все предыдущие версии рукописи должны архивироваться, а уведомление об отзыве должно быть четко анонсировано (Ide, 2021).

Платформа препринтов может потребовать от авторов разместить рукопись в рамках определенной лицензии, что может противоречить лицензионным соглашениям или соглашениям об авторском праве, применяемым в журнале, в ко-

тором автор намерен опубликовать статью⁴. Многие авторы выбирают разные типы лицензий для препринта и последующей статьи в журнале, создавая внутренний конфликт из-за повторного использования очень похожих работ и несовместимого двойного лицензирования в отношении единого продукта (Higgins & Steiner, 2021).

Рекомендации по публикации препринтов

Значимость препринтов в научной коммуникации не вызывает сегодня сомнения. Не случайно научное сообщество стремится выстроить стандартизированный подход к их первичной публикации и дальнейшим модификациям. Авторам рекомендуется включать информацию о дате и статусе публикации препринта в название файла, на титульном листе препринта и/или в метаданные. Во многих репозиториях, включая PsyArXiv, название файла препринта является общедоступным, сохраняется при загрузке работы пользователями и может быть изменено в последующих версиях. Файл должен быть маркирован как препринт. Обязательными являются указание даты версии рукописи, фамилии авторов, краткого описания контента. На титульном листе препринта должна быть указана исчерпывающая информация, например, его статус в процессе рецензирования (например, «Направлен в журнал для рассмотрения», «Представлен для публикации в журнал», «Повторно представлен для публикации» и «Опубликован»). С каждой новой версией препринта авторы должны обновлять информацию о дате и статусе версии. Если рукопись была размещена в качестве препринта, то необходимо уведомить об этом редакцию журнала в сопроводительном письме и включить ссылку на публикацию (Moshontz et al., 2021).

Необходимо повышение эффективности системы отслеживания связей между версиями препринтов, постпринтов и опубликованной статьей (Ide, 2021). Издатели должны создать возможность отражения связи опубликованной статьи с её версиями в статусе препринта в автоматическом режиме (Moustafa, 2021). Выстраивание этой связки потребует разработки алгоритмов поиска/связывания, способных отыскать препринты / постпринты по заглавию и авторскому коллективу. Аналогичные методы уже реализованы многими журналами и веб-сайтами издателей при работе со ссылкам на цитирование и подсчете цитирований. Двухнаправленные связи (от препринта к постпринту и от постпринта к препринту / окон-

чательно опубликованной в журнале версии) могут дополнять друг друга, обеспечивая доступность и прозрачность научных публикаций (Moustafa, 2021; Kramer, 2021).

Возможности для публикации препринтов на русском языке представляет платформа Elpub (<https://preprints.ru>). Препринты на иностранном языке возможно опубликовать на многочисленных и общедоступных серверах препринтов, таких как bioRxiv, arXiv. Например, журнал «Foods and Raw Materials¹⁴» информирует, что авторы могут размещать первоначальный вариант своей рукописи на серверах препринтов, с условием обязательного уведомления редакции журнала при подаче рукописи и предоставлении ссылки на препринт. Редакция указывает, что статьи, ранее изданные в Журнале и доработанные с учетом комментариев рецензентов и редакции, не должны публиковаться на серверах препринтов (это расценивается как дублирующие публикации)¹⁵. Примеры размещения препринтов в области пищевых технологий можно найти, например, на следующих платформах: Elpub (<https://preprints.ru>), agriRxiv (<https://agrirxiv.org/>), SciELO (<https://preprints.scielo.org>).

Рассмотрим на конкретном примере варианты представления информации о препринте и отслеживания его связи с окончательным вариантом публикации в формате статьи научного журнала. Препринт «Candidatus (Ca.) *Phytoplasma Asteris* subgroups display distinct disease progression dynamics during the carrot growing season» (Clements et al., 2021) был размещен на сайте препринтов <https://www.biorxiv.org/>, ему был присвоен doi: <https://doi.org/10.1101/2020.09.17.301150>. На странице препринта есть указание, что на его основе была опубликована статья в журнале PLOS ONE уже с иным идентификатором (<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239956>). Согласно метрикам сайта, указанный препринт упоминался в социальной сети Твиттер три раза. Также имеются данные по количеству загрузок аннотации препринта, просмотров полной его версии и загрузок pdf файлов (Clements et al., Preprint).

Основные положения публикационной этики в отношении препринтов, сформулированы Комитетом по этике научных публикаций (COPE).

Согласно этому документу, автору даются следующие рекомендации:

- тщательно ознакомьтесь с политикой сервера препринтов перед отправкой контента;
- внимательно изучите соглашения об авторском праве на серверах препринтов, чтобы понять, какие права и ограничения налагаются на автора, в связи с дальнейшим использованием рукописи;
- уточните, существуют ли ограничения на использование материалов опубликованного препринта;
- убедитесь, что публикуемый препринт соответствует принятым этическим нормам, исследование проведено добросовестно, авторские и иные права не нарушены.

Издатель препринта обязан⁵:

- иметь четкую политику относительно условий распространения препринтов;
- размещать предупреждение о том, что препринты не рецензируются и не должны рассматриваться как документы, предоставляющие достоверную информацию;
- поддерживать версию представления препринтов, обеспечивая доступ ко всем существующим версиям;
- модерировать размещенные препринты, заменяя старые версии на новые;
- указывать связь препринта с опубликованной статьей;
- в секции с описанием политик детально описывать ответственность автора за качество предоставляемой информации;
- обеспечить возможность корректного цитирования препринта, присваивая DOI.

Обновляя рукопись на сайте препринтов, необходимо загрузить обновленную версию препринта и направить ее на модерацию. После загрузки, обновленная версия препринта по умолчанию будет демонстрироваться первой, номер версии и дата ее публикации будет указана на странице метаданных препринта. Все ранее загруженные версии будут доступны для просмотра. Издательство Springer указывает, что после размещения препринта автор несет ответственность за то, чтобы запись препринта была обновлена ссылкой на статью, включая DOI и URL-ссылку на опубликованную версию работы на веб-сайте журнала¹⁶.

Препринт является значимым инструментом научной коммуникации, что актуализирует не-

¹⁴ *Foods and Raw Materials*. <https://jfrm.ru/>

¹⁵ Порядок рассмотрения. <https://jfrm.ru/for-authors/consideration/>

¹⁶ *Preprint sharing*. <https://www.springer.com/gp/open-access/preprint-sharing/16718886>

обходимость стандартизации подходов к его размещению и выстраиванию связей между всеми версиями.

Литература

- Вахрушев, М. В. (2018). Научная библиотека вуза в роли открытого архива. *Научные и технические библиотеки*, 4, 14-22.
- Горбунов-Посадов, М. М. (2014) Жизненный путь научной публикации. *Информационные технологии и вычислительные системы*, 4, 79-88.
- Зельдина, М. М. (2020). Препринты: История развития и современное состояние. *Наука и научная информация*, 3(4), 287-294. <https://doi.org/10.24108/2658-3143-2020-3-4-287-294>
- Косычева, М. А., & Тихонова, Е. В. (2020). Препринт как вид научной публикации. *Health, Food & Biotechnology*, 2(3), 7-11. <https://doi.org/10.36107/hfb.2020.i3.s100>
- Полилова, Т. А. (2021). Препринт как материал для оверлейного журнала. *Электронные библиотеки*, 24(2), 387-407. <https://doi.org/10.26907/1562-5419-2021-24-2-386-406>
- Berg, J. (2017). Preprint ecosystems. *Science*, 357(6358), 1331. <https://doi.org/10.1126/science.aaq0167>
- Berg, J. M., Bhalla, N., Bourne, P. E., Chalfie, M., Drubin, D. G., Fraser, J. S., Greider, C. W., Hendricks, M., Jones, C., Kiley, R., King, S., Kirschner, M. W., Krumholz, H. M., Lehmann, R., Leptin, M., Pulverer, B., Rosenzweig, B., Spiro, J. E., Stebbins, M., Strasser, C., Swaminathan, S., Turner, P., Valek, R.D., Vijayraghavan, K., & Wolberger, C. (2016). Preprints for the life sciences. *Science*, 352(6288), 899-901. <https://doi.org/10/bmp7>
- Cabanac, G., Oikonomidi, T., & Boutron, I. (2021). Day-to-day discovery of preprint-publication links. *Scientometrics*, 126, 5285-5340. <https://doi.org/10.1007/s11192-021-03900-7>
- Ciecholewska-juško, D., Broda, M., Żywicka, A., Styburski, D., Sobolewski, P., Gorący, K., Migdał, P., Junka, A., & Fijałkowski, K. (2021). Potato juice, a starch industry waste, as a cost-effective medium for the biosynthesis of bacterial cellulose. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(19), Article 10807. <https://doi.org/10.3390/ijms221910807>
- Clements, J., Bradford, B. Z., Garcia, M., Piper, S., Huang, W., Zwolinska, A., Lamour, K., Hogenhout, S. A., & Groves, R. L. (2021). ‘Candidatus *Phytoplasma asteris*’ subgroups display distinct disease progression dynamics during the carrot growing season. *PLOS One*, 16(2), Article e0239956. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239956>
- Clements, J., Bradford, B. Z., Garcia, M., Piper, S., Huang, W., Zwolinska, A., Lamour, K., Hogenhout, S. A., & Groves, R. L. (2020). ‘Candidatus *Phytoplasma asteris*’ subgroups display distinct disease progression dynamics during the carrot growing season. *bioRxiv*. <https://doi.org/10.1101/2020.09.17.301150>
- De Vasconcellos, V. G., & da Costa de-Lorenzi, F. (2020). Editorial - preprint and postprint in scientific publications and in law: Discussions and measures to open science and research communication. *Revista Brasileira de Direito Processual Penal*, 6(3), 1091-1116. <https://doi.org/10.22197/RBDPP.V6I3.452>
- Fraser, N., Momeni, F., Mayr, P., & Peters, I. (2020). The relationship between bioRxiv preprints, citations and altmetrics. *Quantitative Science Studies*, 1(2), 618-638. https://doi.org/10.1162/qss_a_00043
- Ginsparg, P. (2011). ArXiv at 20. *Nature*, 476, 145-147. <https://doi.org/10.1038/476145a>
- Ginsparg, P. (2016). Preprint déjà vu. *The EMBO Journal*, 35(24), 2620-2625. <https://doi.org/10.15252/embj.201695531>
- Higgins, J., & Steiner, R. D. (2021). Author preprint behaviour and non-compliance with journal preprint policies: One biomedical journal’s experience. *Learned Publishing*, 34(3), 389-395. <https://doi.org/10.1002/leap.1376>
- Hoy, M. B. (2020). Rise of the Rxivs: How preprint servers are changing the publishing process. *Medical Reference Services Quarterly*, 39(1), 84-89. <https://doi.org/10.1080/02763869.2020.1704597>
- Ide, K., Koshiba, H., Hawke, P., & Fujita, M. (2021). Guidelines are urgently needed for the use of preprints as a source of information. *Journal of Epidemiology*, 31(1), 97-99. <https://doi.org/10.2188/jea.JE20200506>
- Kramer, B. (2021). Links from preprints to published papers in preprint metadata. In *18th International conference on scientometrics and informetrics (ISSI): Proceedings of the International Conference on Scientometrics and Informetrics* (pp. 609-614). Leuven: University of Antwerp KU Leuven.
- Krumholz, H. M., Ross, J. S., & Otto, C. M. (2018). Will research preprints improve healthcare for patients. *British Medical Journal*, 362, Article k3628. <https://doi.org/10.1136/bmj.k3628>
- Leopold, S. S., Haddad, F. S., Sandell, L. J., & Swiontkowski, M. (2018). Clinical orthopaedics and related research, the bone & joint journal, the Journal of orthopaedic research, and the Journal of bone and joint surgery will not accept clinical research manuscripts previously posted to preprint servers. *The Bone and Joint Journal*, 101-B(1), Article 1289. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.101B1.BJJ-2018-1289>
- Leopold, S. S., Haddad, F. S., Sandell, L. J., & Swiontkowski, M. (2019). Clinical orthopaedics and related research, the bone & joint journal, the journal

- of orthopaedic research, and the journal of bone and joint surgery will not accept clinical research manuscripts previously posted to preprint servers. *The Bone & Joint Journal*, 101-B(1), 1-3. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.101B1.BJJ-2018-1289>
- Moshontz, H., Binion, G., Walton, H., Brown, B. T., & Syed, M. (2021). A guide to posting and managing preprints. *Advances in Methods and Practices in Psychological Science*, 4(2), Article 251524592110199. <https://doi.org/10.1177/25152459211019948>
- Moustafa, K. (2021). Postprints-to-preprints linkage to enhance access to scientific literature. *Accountability in Research*. <https://doi.org/10.1080/08989621.2021.2019024>
- Narock, T., & Goldstein, E. B. (2019). Quantifying the growth of preprint services hosted by the center for open science. *Publications*, 7(2), 44. <https://doi.org/10.3390/publications7020044>
- Phelps, R. H., & Herling, J. P. (1960). Alternatives to the scientific periodical: A report and bibliography. *UNESCO Bulletin for Libraries*, 14(2), 61-75.
- Schloss, P. D. (2017). Preprinting microbiology. *mBio*, 8(3), Article e00438-17. <https://doi.org/10.1128/mBio.00438-17>
- Taleysnik, M. A., Shcherbakova, N. A., Pesterev, M. A., Savenkova, T. V., & Gerasimov, T. V. (2020). Formation of the structure of gas-liquid, food dispersion non-equilibrium liquid systems in conditions of hydrodynamic and acoustic cavitation. *PREPRINTS.RU*, Article 3112143. <https://doi.org/10.24108/preprints-3112143>
- Teixeira da Silva, J. A. (2017). Preprints: Ethical hazard or academic liberation. *An International Journal of Pure Communication Inquiry*, 5(2), 73-80. <https://doi.org/10.17646/KOME.2017.26>
- Teixeira da Silva, J. A. (2020). Silently withdrawn or retracted preprints related to Covid-19 are a scholarly threat and a potential public health risk: Theoretical arguments and suggested recommendations. *Online Information Review*, 45(4), 751-757. <https://doi.org/10.1108/OIR-08-2020-0371>
- Till, J. E. (2001). Predecessors of preprint servers. *Learned publishing*, 14(1), 7-13. <https://doi.org/10.1087/09531510125100214>
- Wang, Z., Glänzel, W., & Chen, Y. (2020). The impact of preprints in Library and Information Science: an analysis of citations, usage and social attention indicators. *Scientometrics*, 125, 1403-1423. <https://doi.org/10.1007/s11192-020-03612-4>
- Wykle, S. (2014). Enclaves of anarchy: Preprint sharing, 1940-1990: Enclaves of Anarchy: Preprint Sharing, 1940-1990. *Proceedings of the American society for information science and technology*, 51(1), 1-10. <https://doi.org/10.1002/MEET.2014.14505101036>
- Yi, H. J., & Huh, S. (2021). Korean editors' and researchers' experiences with preprints and attitudes towards preprint policies, *Science Editing*, 8(1), 4-9. <https://doi.org/10.6087/kcse.223>

Preprints and Postprints in Creating a Landscape for Effective Scientific Communication

Elena V. Tikhonova

*Moscow State University of Food Production
11, Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: etihonova@mgupp.ru*

Nataliya M. Shlenskaya

*Moscow State University of Food Production
11, Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: n.shlenskaya@mgupp.ru*

Preprints are becoming more and more popular, allowing scientists to quickly exchange information. Authors post preprints in the public domain to speed up the process of publishing the results of completed research. Preprints are associated with both positive (accelerating the process of exchanging scientific information, obtaining more feedback from colleagues, developing open access to science, etc.) and negative trends (dishonest authors, lack of a system for building automatic links between a preprint and a publication based on it). articles, etc.) in the context of scientific communication. At the same time, the scientific community is actively discussing options for the optimal incorporation of preprints into the system of information exchange and dissemination, believing that the institution of preprints is in demand as an indisputable fact. The purpose of this article is to describe the current *status quo* in the field of preprints for Russian researchers in all areas of the food industry. The authors analyzed publications on the specified topics in order to highlight the main trends in the analyzed issues with a focus on scenarios for the further development of the architecture of incorporation of preprints and postprints into scientific knowledge.

Keywords: preprint, food industry, knowledge sharing, publication

References

- Gorbunov-Posadov, M. M. (2014) Zhiznennyi put' nauchnoi publikatsii [Scientific publishing life path]. *Informatsionnye tekhnologii i vychislitel'nye sistemy [Information Technology and Computing Systems]*, 4, 79-88.
- Kosycheva, M. A., & Tikhonova, E. V. (2020). Preprint kak vid nauchnoi publikatsii [Preprint as a type of scientific publication]. *Health, Food & Biotechnology*, 2(3), 7-11. <https://doi.org/10.36107/hfb.2020.i3.s100>
- Polilova, T. A. (2021). Preprint kak material dlya overleinogo zhurnala [Preprint as material for an overlay magazine]. *Elektronnye biblioteki [Digital Libraries]*, 24(2), 387-407. <https://doi.org/10.26907/1562-5419-2021-24-2-386-406>
- Vakhrushev, M. V. (2018). Nauchnaya biblioteka vuza v roli otkrytogo arkhiva [The scientific library of the university as an open archive]. *Nauchnye i tekhnicheskie biblioteki [Scientific and Technical Libraries]*, 4, 14-22.
- Zel'dina, M. M. (2020). Preprinty: Istoriya razvitiya i sovremennoe sostoyanie [Preprints: History of Development and State of the Art]. *Nauka i nauchnaya informatsiya [Science and Scientific Information]*, 3(4), 287-294. <https://doi.org/10.24108/2658-3143-2020-3-4-287-294>
- Berg, J. (2017). Preprint ecosystems. *Science*, 357(6358), 1331. <https://doi.org/10.1126/science.aag0167>
- Berg, J. M., Bhalla, N., Bourne, P. E., Chalfie, M., Drubin, D. G., Fraser, J. S., Greider, C. W., Hendricks, M., Jones, C., Kiley, R., King, S., Kirschner, M. W., Krumholz, H. M., Lehmann, R., Leptin, M., Pulverer, B., Rosenzweig, B., Spiro, J. E., Stebbins, M., Strasser, C., Swaminathan, S., Turner, P., Valek, R.D., Vijayraghavan, K., & Wolberger, C. (2016). Preprints for the life sciences. *Science*, 352(6288), 899-901. <https://doi.org/10/bmp7>
- Cabanac, G., Oikonomidi, T., & Boutron, I. (2021). Day-to-day discovery of preprint-publication links. *Scientometrics*, 126, 5285-5340. <https://doi.org/10.1007/s11192-021-03900-7>
- Ciecholewska-juško, D., Broda, M., Żywicka, A., Styburski, D., Sobolewski, P., Gorący, K., Migdał, P., Junka, A., & Fijałkowski, K. (2021). Potato juice, a starch industry waste, as a cost-effective medium for the biosynthesis of bacterial cellu-

- lose. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(19), Article 10807. <https://doi.org/10.3390/ijms221910807>
- Clements, J., Bradford, B. Z., Garcia, M., Piper, S., Huang, W., Zwolinska, A., Lamour, K., Hogenhout, S. A., & Groves, R. L. (2021). 'Candidatus *Phytoplasma asteris*' subgroups display distinct disease progression dynamics during the carrot growing season. *PLOS One*, 16(2), Article e0239956. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239956>
- Clements, J., Bradford, B. Z., Garcia, M., Piper, S., Huang, W., Zwolinska, A., Lamour, K., Hogenhout, S. A., & Groves, R. L. (2021). 'Candidatus *Phytoplasma asteris*' subgroups display distinct disease progression dynamics during the carrot growing season. *PLOS One*, 16(2), Article e0239956. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239956>
- De Vasconcellos, V. G., & da Costa de-Lorenzi, F. (2020). Editorial - preprint and postprint in scientific publications and in law: Discussions and measures to open science and research communication. *Revista Brasileira de Direito Processual Penal*, 6(3), 1091-1116. <https://doi.org/10.22197/RBDPP.V6I3.452>
- Fraser, N., Momeni, F., Mayr, P., & Peters, I. (2020). The relationship between bioRxiv preprints, citations and altmetrics. *Quantitative Science Studies*, 1(2), 618-638. https://doi.org/10.1162/qss_a_00043
- Ginsparg, P. (2011). ArXiv at 20. *Nature*, 476, 145-147. <https://doi.org/10.1038/476145a>
- Ginsparg, P. (2016). Preprint déjà vu. *The EMBO Journal*, 35(24), 2620-2625. <https://doi.org/10.15252/embj.201695531>
- Higgins, J., & Steiner, R. D. (2021). Author preprint behaviour and non-compliance with journal preprint policies: One biomedical journal's experience. *Learned Publishing*, 34(3), 389-395. <https://doi.org/10.1002/leap.1376>
- Hoy, M. B. (2020). Rise of the Rxivs: How preprint servers are changing the publishing process. *Medical Reference Services Quarterly*, 39(1), 84-89. <https://doi.org/10.1080/02763869.2020.1704597>
- Ide, K., Koshiba, H., Hawke, P., & Fujita, M. (2021). Guidelines are urgently needed for the use of preprints as a source of information. *Journal of Epidemiology*, 31(1), 97-99. <https://doi.org/10.2188/jea.JE20200506>
- Kramer, B. (2021). Links from preprints to published papers in preprint metadata. In *18th International conference on scientometrics and informetrics (ISSI): Proceedings of the International Conference on Scientometrics and Informetrics* (pp. 609-614). Leuven: University of Antwerp KU Leuven.
- Krumholz, H. M., Ross, J. S., & Otto, C. M. (2018). Will research preprints improve healthcare for patients. *British Medical Journal*, 362, Article k3628. <https://doi.org/10.1136/bmj.k3628>
- Leopold, S. S., Haddad, F. S., Sandell, L. J., & Swiontkowski, M. (2018). Clinical orthopaedics and related research, the bone & joint journal, the Journal of orthopaedic research, and the Journal of bone and joint surgery will not accept clinical research manuscripts previously posted to preprint servers. *The Bone and Joint Journal*, 101-B(1), Article 1289. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.101B1.BJJ-2018-1289>
- Leopold, S. S., Haddad, F. S., Sandell, L. J., & Swiontkowski, M. (2019). Clinical orthopaedics and related research, the bone & joint journal, the journal of orthopaedic research, and the journal of bone and joint surgery will not accept clinical research manuscripts previously posted to preprint servers. *The Bone & Joint Journal*, 101-B(1), 1-3. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.101B1.BJJ-2018-1289>
- Moshontz, H., Binion, G., Walton, H., Brown, B. T., & Syed, M. (2021). A guide to posting and managing preprints. *Advances in Methods and Practices in Psychological Science*, 4(2), Article 251524592110199. <https://doi.org/10.1177/25152459211019948>
- Moustafa, K. (in press). Postprints-to-preprints linkage to enhance access to scientific literature. *Accountability in Research*. <https://doi.org/10.1080/08989621.2021.2019024>
- Narock, T., & Goldstein, E. B. (2019). Quantifying the growth of preprint services hosted by the center for open science. *Publications*, 7(2), 44. <https://doi.org/10.3390/publications7020044>
- Phelps, R. H., & Herling, J. P. (1960). Alternatives to the scientific periodical: A report and bibliography. *UNESCO Bulletin for Libraries*, 14(2), 61-75.
- Schloss, P. D. (2017). Preprinting microbiology. *mBio*, 8(3), Article e00438-17. <https://doi.org/10.1128/mBio.00438-17>
- Taleysnik, M. A., Shcherbakova, N. A., Pesterev, M. A., Savenkova, T. V., & Gerasimov, T. V. (2020). Formation of the structure of gas-liquid, food dispersion non-equilibrium liquid systems in conditions of hydrodynamic and acoustic cavitation. *PREPRINTS.RU*, Article 3112143. <https://doi.org/10.24108/preprints-3112143>
- Teixeira da Silva, J. A. (2017). Preprints: Ethical hazard or academic liberation. *An International Journal of Pure Communication Inquiry*, 5(2), 73-80. <https://doi.org/10.17646/KOME.2017.26>

Микроволновая модификация углеводов

Шевченко Татьяна Викторовна

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

Адрес: 650043, г. Кемерово, ул. Красная, д. 6

E-mail: tatyana.shevchenko.1948@mail.ru

Устинова Юлия Владиславовна

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

Адрес: 650043, г. Кемерово, ул. Красная, д. 6

E-mail: yul48888048@yandex.ru

Плотников Константин Борисович

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

Адрес: 650043, г. Кемерово, ул. Красная, д. 6

E-mail: k.b.plotnikov.rf@gmail.com

Попов Анатолий Михайлович

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

Адрес: 650043, город Кемерово, ул. Красная, д. 6

E-mail: popov4116@yandex.ru

Жалнина Адександра Анатольевна

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»

Адрес: 650043, город Кемерово, ул. Красная, д. 6

E-mail: qwert1776@yandex.ru

Одной из основных задач, стоящих перед пищевой промышленностью на сегодняшний день, является производство пищевой продукции нового поколения с заданными характеристиками качества. Анализ показывает, что в литературе рассматриваются два основных новых направления - это использование новых видов сырья и изменение свойств и технологий подготовки традиционного сырья. Развитие приемов известных технологий ускорит совершенствование переработки нативного пищевого сырья и отходов производства с целью получения целевых продуктов, обладающих новыми прогнозируемыми свойствами. Цель данного исследования – проанализировать влияние микроволнового излучения на изменение свойств крахмальных порошков и опосредованную передачу энергии дрожжей к крахмалопродуктам. Анализировались различные виды крахмала: клубневой (картофельный) и зерновой (гречневый). При микроволновом воздействии (МВИ) на крахмал использовалась энергия микроволн сантиметрового диапазона с частотой 2,45 ГГц. Такая малая энергия МВИ соответствует энергии вращения атомов в молекулах вокруг валентной σ -связи и способствует возникновению поворотной изомерии. Рассмотрены возможности управления свойствами крахмала за счет изменения конформации полимерной цепи под воздействием микроволнового излучения. Определены оптимальные технические параметры микроволновой обработки с частотой 2,45 ГГц для опосредованной активации хлебопекарных дрожжей через крахмалопродукты. Разработана технология опосредованной передачи энергии хлебопекарным дрожжам за счет обработанных МВИ крахмалопродуктов. Найдены приемы модификации крахмала для изменения их влагопоглощающей способности. Предварительная обработка сухого нативного картофельного крахмала микроволнами в течение 10 сек позволила увеличить влагопоглощательную способность крахмала незначительно (в 1,1 раза), последующее увеличение времени микроволновой обработки позволило уже существенно повысить (в 2-2,4 раза) показатель влагопоглощения по сравнению с контрольным образцом. Наибольшая адсорбция воды, в рамках заданных нами временных промежутков, наступает после обработки МВИ в течении 15 сек - увеличение в 2,4 раза. Для гречневого крахмала оптимальное время воздействия МВИ - 25 сек, а эффективность воздействия МВИ ниже (в 1,6 раза), чем у картофельного крахмала. Применение модифицированного крахмала в пищевой промышленности наиболее эффективно в технологии производства низкосортных колбас, для связывания свободной влаги.

Ключевые слова: углеводы, крахмал, крахмалопродукты, хлебопекарные дрожжи, микроволновое излучение, модификация

Введение

Крахмал является биоразлагаемым полимером, который все чаще используется во многих отраслях промышленности как ингредиент при производстве продуктов питания из-за его соответствующих физико-химических свойств (Москва и др., 2012; Ягофаров и др., 2012; Fathi & Namazi, 2014). Он как правило содержится в зернах, плодах, корнях и клубнях растений и служит их основным материалом. Его получают из картофеля, кукурузы, пшеницы и риса, овса в процессе разделения.

Химический состав и свойства крахмала

С химической точки зрения крахмал состоит из двух полисахаридов: линейной амилозы, в которой звенья α -D-глюкопиранозы связаны с α (1 → 4)-гликозидными связями (Рисунок 1), и разветвленного амилопектина, в котором присутствуют дополнительные α (1 → 6)-гликозидные связи (Рисунок 2) (Namazi et al., 2018; Kushwaha & Kaur, 2018).

Крахмал также содержит белки, липиды, воду и очень небольшое количество соединений фосфора, магния и кальция (Наз, et al., 2019).

Вследствие неблагоприятных свойств нативного крахмала, таких как плохая растворимость и высокая гидрофильность, он подвергается различным модификациям. Наиболее распространенными методами обеспечения значительного улучшения

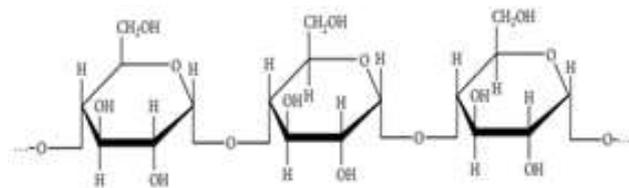


Рисунок 1. Амилоза

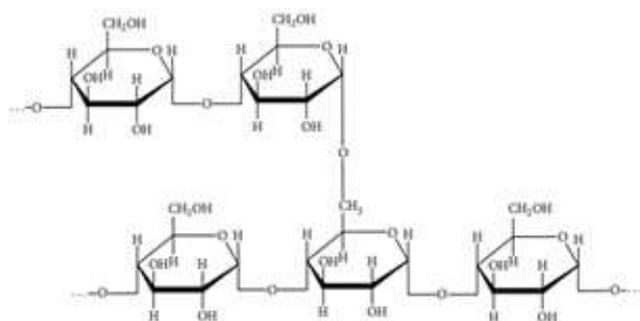


Рисунок 2. Амилопектин

свойств крахмала являются химические, физические и ферментативные модификации (Литвяк и др., 2012).

Известно, что каждый вид макромолекул обладает определенным набором дискретных энергетических состояний (конформаций). Каждая конформация макромолекулы крахмала имеет определенную адсорбционную активность к воде. Это связано с особенностями расположения гидроксильных групп по отношению к плоскости пиранозного кольца (Габдукаева и др., 2014).

Для полисахаридов (крахмал) возможно существование трех типов конформаций: «кресло», «ванна», «твист». В первом случае ОН-группы экваториальны, т.е. лежат в плоскости кольца. Во втором случае ОН-группы перпендикулярны плоскости кольца и обладают большей реакционной активностью. Имеется шесть конформаций типа «ванна». Конформеры имеют разную энергию. Наиболее термодинамически устойчивы структуры типа «кресло». Известно, что конформационное поведение макромолекул определяется их химическим строением. Так если запас энергии достаточный, то звено макромолекулы крахмала переходит в более энергетическую конформацию (поворотная изомерия). В третьем случае более стабильная конформация «твист», занимающая промежуточное положение: она менее выгодна, чем конформация «кресла» (Рисунок 3) (Литвяк, 2018).

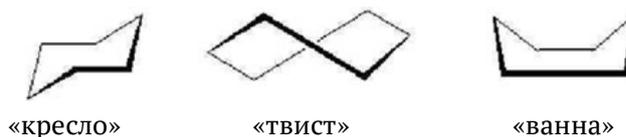


Рисунок 3. Конформация полисахаридов (крахмал)

Модификация углеводов с помощью микроволновой печи

Микроволновое излучение - это электромагнитное излучение в диапазоне от 3000 МГц до 30 ГГц и является одним из физических методов, используемых для улучшения функциональных свойств крахмала, позволяющий быстро передавать энергию внутрь материала, где энергия преобразуется в тепло, наряду со значительным сокращением времени обработки по сравнению с обычными процессами.

Микроволновое поле оказывает влияние и на свойства готового продукта (Zia-ud-Din et al., 2017).

В последнее время микроволновое излучение широко используется в различных методах обработки, таких как нагрев, оттаивание и стерилизация, как в промышленности, так и в домашних условиях. Поэтому проводятся также исследования влияния микроволнового излучения на физико-химические свойства крахмала (Кряжев, 2010; Кряжев и др., 2010).

Свойства микроволнового излучения

Микроволновое излучение обладает многими преимуществами, наиболее важными из которых являются быстрый процесс, избирательность нагрева и объемный нагрев, и что наиболее важно, так это то, что микроволновый нагрев экологически чистый. Кроме того, микроволновый нагрев помогает снизить эксплуатационные расходы, поскольку энергия, производимая микроволнами, фокусируется на материале, что значительно повышает производительность реализуемых процессов (Yi & Li, 2021; Gupta et al., 2021; Xie et al., 2021).

Факторы, влияющие на поведение крахмала в микроволновом поле, зависят от крахмала, а именно его тип, содержание воды, плотность, диэлектрические свойства, глубина проникновения и факторы, связанные с процессом микроволновой обработки, которые являются частотой, мощностью и временем воздействия (Okur et al., 2021; Fan et al., 2021).

Влияние микроволнового излучения на углеводы

Частоты, используемые в промышленных микроволновых печах, равны 915 МГц, а в бытовых микроволновых печах – 2450 МГц. Основным эффектом микроволнового взаимодействия с материалом является нагрев диэлектрика. Происходит сильный нагрев воды, содержащейся в материале, что вызвано быстрой переориентацией диполей и разрыв водородных связей. В конечном итоге это приводит к формированию структурных изменений (Lee et al., 2021; Das & Sit, 2021; Ren et al., 2021). При использовании микроволновых частот (2450 МГц) величина диэлектрической проницаемости и величина диэлектрических потерь зависят от содержания воды и соли в материале.

Диэлектрическая постоянная характеризует проникновение микроволн в крахмал, а коэффициент диэлектрических потерь определяет способность крахмала накапливать энергию. Глубина проникновения микроволнового излучения регулируется частотой СВЧ и диэлектрическими свойствами материала (Okonkwo et al., 2021). Диэлектрические

свойства являются очень важными факторами при микроволновой обработке гранулированного крахмала и сильно зависят от типа крахмала, содержания влаги, частоты СВЧ и температуры (Guida et al., 2021; Ashogbon, 2021b; Wang et al., 2021; Ashogbon, 2021a).

Влияние микроволнового нагрева на физико-химические свойства и структуру крахмала

Во время микроволнового нагрева на повышение температуры влияет мощность микроволновой печи, тип и влажность крахмала. Содержание воды в материале оказывает значительное влияние на процесс нагрева. Исследования показали, что образцы крахмала с низкой влажностью претерпевают трансформацию иначе, чем образцы с высокой влажностью. В случае крахмалов с низкой влажностью (в диапазоне 1-5 %) происходит быстрое повышение температуры, тогда как при более высокой влажности в диапазоне 7-15% повышение температуры менее заметно (Obadi & Xu, 2021; Raghunathan et al., 2021).

Микроволновая обработка способна изменять механизм желатинизации и влияет на реологические свойства крахмала. Желатинизация является одним из важнейших функциональных свойств крахмала и имеет особое значение при переработке. Микроволновое воздействие на крахмал в целом приводит к повышению температуры гелеобразования и снижению энтальпии процесса, что происходит под влиянием структурных изменений макромолекул крахмала (Manilla et al., 2021).

Физико-химические свойства облученного крахмала не постоянны. Через определенное время кислотность и растворимость облученных крахмалов существенно понижаются, вплоть до получения крахмалов полностью нерастворимых в воде. Результаты реологических исследований показывают, что микроволновое воздействие может осуществлять значительные изменения реологических характеристик крахмала, например, снижение вязкости (Литвяк и др., 2018).

Цель данного исследования – проанализировать влияние микроволнового излучения на изменение свойств крахмальных порошков и опосредованную передачу энергии дрожжей к крахмалопродуктам.

Задачи исследования: (1) Разработать приемы модификации крахмалов, исследовать морфологию крахмальных порошков, (2) определить оптимальные технические параметры микроволновой обработки для опосредованной активации хлебо-

пекарных дрожжей через крахмалопродукты, (3) разработать технологию модификации крахмальных продуктов, позволяющая управлять технологическими свойствами этих углеводных систем, за счет накопления энергии и ее последующей передаче другим пищевым объектам, (4) разработать приемы модификации крахмалов для изменения их влагопоглощающей способности.

Материалы и методы исследования

Объекты исследования

В качестве объектов для проведения экспериментов использовались:

1. Картофельный крахмал сорта «Луговской» (ГОСТ Р 53876-2010¹).
2. Гречневый крахмал.
3. Хлебопекарные дрожжи (*Sacharomycos cerevisiae*).
4. Кукурузная шлифованная крупа.
5. Гречневая крупа первого сорта (дробленная).

Методы

Электронное микроскопирование крахмальных порошков

Электронное микроскопирование для исследования морфологии крахмальных порошков проводили с использованием растрового (сканирующего) микроскопа JEOL (Япония) серии JSM-7800F (диапазон увеличений от $\times 25$ до $\times 1000000$), который за счет больших технических возможностей позволяет получать объемные и высокочетные снимки малых объектов. Этот современный, широко используемый метод, обладая высокой наглядностью, был применен нами для определения геометрической формы, строения, размеров крахмальных зерен и оценки некоторых внешних признаков воздействия микроволнового излучения (МВИ) на крахмальные зерна.

Микрофотографии зерен картофельного крахмала необлученного и облученного МВИ проводили с увеличением в 1500 раз, микрофотографии гречневого крахмала проводили с увеличением в 150; 1100 раз.

Эффект водяного взрыва крахмала объясняли изучением спектра поглощения водой электро-

магнитных волн при различных диапазонах их частоты.

Рассеивания энергии крахмалопродуктами

Для определения рассеивания энергии крахмалопродуктами сухую навеску сухих хлебопекарных дрожжей (*Sacharomycos cerevisiae*) помещали в бумажный контейнер и опускали в крахмальный порошок (кукурузную и гречневую крупу), обработанный МВИ в течение 20 секунд, при $t=20\div 25^{\circ}\text{C}$. Время нахождения дрожжей в крахмале (процесс опосредованной передачи микроволновой энергии) составляло 5 и 10 минут.

Определение подъемной силы (активности) дрожжей определяли ускоренным методом – методом всплывания шарика (ГОСТ Р 54731-2011²).

Влагопоглотительную способность крахмала определяли методом центрифугирования, с частотой вращения 3200 оборотов в мин.

Процедура исследования. На первом этапе исследовали крахмальные зерна картофельного и гречневого крахмалов с использованием растрового (сканирующего) микроскопа. На втором этапе проведена активация сухих хлебопекарных дрожжей опосредованной энергией через кукурузную и гречневую крупу. На третьем этапе представлены данные исследования изменения влагопоглощения картофельного и гречневого крахмала под действием МВИ.

Результаты и их обсуждение

Микроскопическое исследование крахмальных зерен

Картофельный крахмал

Различные виды крахмалов отличаются друг от друга геометрической формой, размером зерна, соотношением химического состава и соотношением компонентов амилоза-амилопектин (Руськина и др., 2017), что объясняется широкое многообразие крахмалсодержащих продуктов.

С использованием растрового (сканирующего) микроскопа получены сравнительные микрофотографии зерен картофельного крахмала: а - обработанного и б – необработанного МВИ (Рисунок 4).

¹ ГОСТ Р 53876-2010. (2013). Крахмал картофельный. Технические условия. М.: Стандартинформ.

² ГОСТ Р 54731-2011. (2013). Дрожжи хлебопекарные прессованные. Технические условия. М.: Стандартинформ.



а



б

Рисунок 4. Микрофотографии зерен картофельного крахмала: а - необлученного; б - облученного МВИ в течении 15 секунд

Высокая разрешающая способность электронного микроскопа (увеличение в 1500 раз) позволило оценить размеры и геометрическую форму зерен картофельного крахмала.

Такие характеристики могут являться достоверным аналитическим контролем происхождения, качества, однородности и состояния зерен не только картофельного крахмала, но и всех других видов крахмалов.

Как видно из Рисунка 4 (б) произошел внешний разрыв крахмального зерна, который возможно объяснить эффектом водяного взрыва за счет

быстрого испарения молекул воды из воздушно-сухого крахмала с содержанием влаги 15%. Полученный таким образом модифицированный крахмал будет отличаться от нативного по своим характеристикам.

Согласно исследованиям (Xie et al., 2013) микроволновая обработка вызывает заметные изменения в структуре морфологии зерен картофельного крахмала. Нативные зерна крахмала показали четкую и правильную эллиптическую форму с гладкими поверхностями.

Найденный эффект водяного взрыва можно объяснить тем, что именно вода является аккумулятором и поглотителем микроволновой энергии. На рисунке 5 представлено поглощение электромагнитного поля водой в зависимости от частоты. При частоте волн 2.45×10^9 Гц наблюдается интенсивное поглощение водой энергии микроволн, то есть возникает эффект резонанса.

Гречневый крахмал

Подобные электронные микрофотографии были сделаны и для воздушно-сухих образцов зерен гречневого крахмала (Рисунки 6 и 7).

Из микрофотографии (Рисунок 6) с относительно невысокой степенью увеличения в 150 раз следует, что зерна гречневого крахмала принципиально отличаются от зерен картофельного крахмала. Они состоят из набора укрупненных частиц неправильной щепнеобразной геометрической формы, с размерами частиц от 100 до 200 нм. Такие видовые отличия строения крахмальных зе-

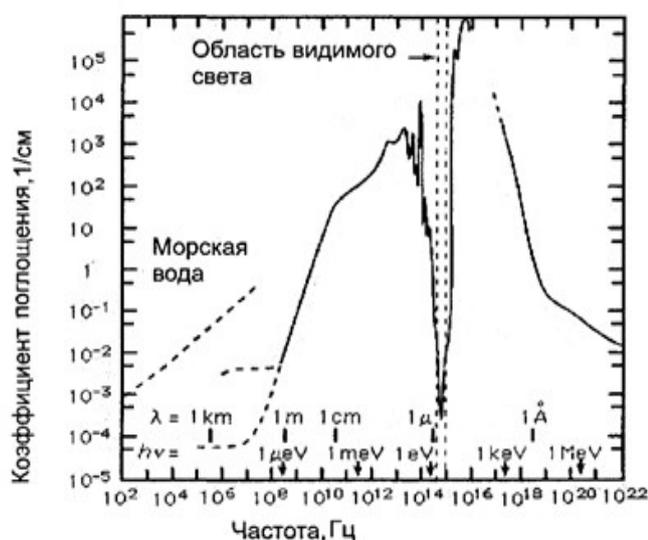


Рисунок 5. Поглощение электромагнитного поля водой в зависимости от частоты

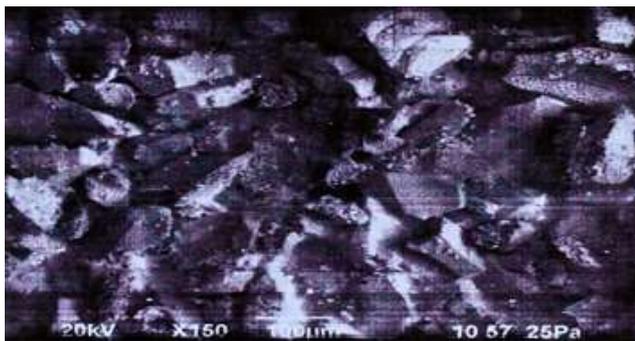


Рисунок 6. Микрофотография зерен гречневого крахмала. Увеличение в 150 раз

рен объясняется условиями их образования: зерна картофельного крахмала постоянно омываются клубневым соком, а зерна гречневого крахмала формируются при невысоком содержании жидкой фракции в зерне.

При повышенной степени разрешения фотографии в 1100 раз удалось, с помощью электронного микроскопа, рассмотреть более тонкое строение отдельного гречневого зерна, имеющего сложную организацию (Рисунок 7).

Нами установлено, что в одном большом макрозерне (Рисунок 6) находятся несколько сотен малых многогранных зернышек с размерами от 2-3 нм до 10 нм. Каждое зерно отделено друг от друга пористыми зазорами, что видно на Рисунке 6.

Нами установлено, что при воздействии микроволн на гречневый крахмал эта картина расположения малых зерен в макрозерне принципиально не меняется. Разлома отдельных зернышек не наблюдается. При этом энергия МВИ расходуется на расшатывание сложной уплотненной структуры крупных крахмальных зерен за счет увеличения зазора между малыми зернами.

Под воздействием микроволнового излучения крахмал может поглощать электромагнитную энергию и изменять структуру макромолекул клеток, влияя на их физиологические и биохимические характеристики (Abu-Elsaud, 2015).

Найденные изменения являются основой появления новых физико-химических и технологических свойств исследуемых крахмалов после воздействия МВИ.

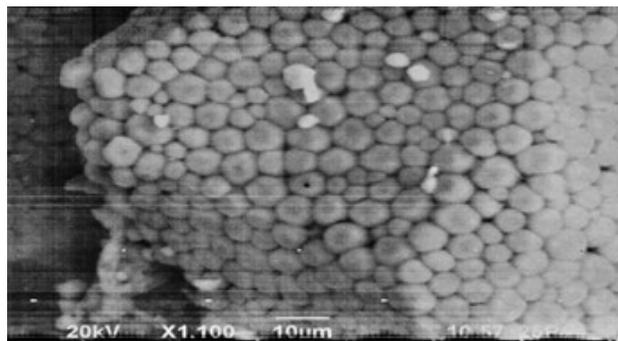


Рисунок 7. Микрофотография зерен гречневого крахмала. Увеличение в 1100 раз

Рассеяние энергии крахмалопродуктами

Согласно законам физики, поглощенная диэлектриком энергия электромагнитных волн способна постепенно рассеиваться. Скорость рассеивания, полученной энергии, зависит от его диэлектрической постоянной и от особенностей химического строения.

Индикатором выделения волновой энергии являлись сухие хлебопекарные дрожжи (*Sacharomycos cerevisiae*), которые помещали в бумажный контейнер, а далее в обработанный МВИ крахмальный порошок. Время нахождения дрожжей в крахмале составляло 5 и 10 минут. Повышение активности дрожжей подтверждалось методом «всплытия шарика».

Полученные данные согласовываются с данными, представленными в изобретении³. Эти данные показывают, что использованный режим облучения вызывает существенное усиление энергии брожения. Действие микроволн определяет также значительное увеличение числа живых клеток. Таким образом проявляется прямое активирующее действие микроволн на дрожжевую культуру дрожжей.

Найденное новое технологическое свойство крахмалов, приобретенное после обработки МВИ, может быть целенаправленно использовано в пищевой промышленности (Рисунок 8).

Из представленных данных мы видим, что дополнительная активация сухих хлебопекарных дрожжей опосредованной энергией возможна. В данном случае, выдержка дрожжей в активированном крахмале поспособствовало ускоренной перестройке их энергетического обмена с процесса дыхания на брожение. В случае, когда процесс

³ Аминова, Э. М., Исмаилов, Э. Ш., & Джаруллаев, Д. С. (2003). Способ активации дрожжей (РФ Патент № 2200194). Дагестанский государственный технический университет. https://yandex.ru/patents/doc/RU2200194C2_20030310

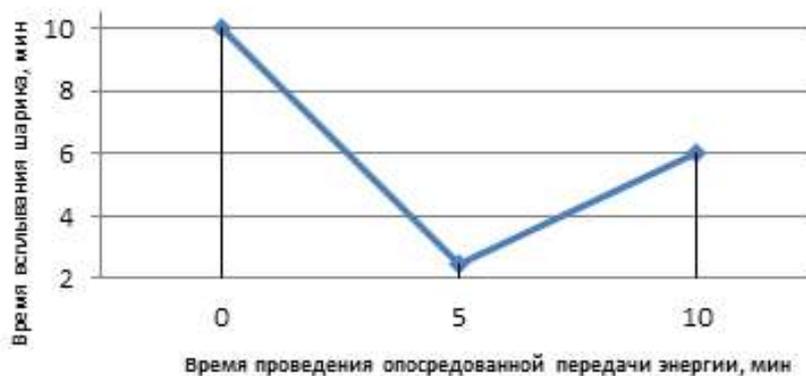


Рисунок 8. Опосредованная передача энергии

опосредованной передачи микроволновой энергии длился 5 минут, мы видим ускорение активации дрожжей в 6,5 раз. При выдержке 10 минут, по сравнению с контролем, результат стал лучше более чем в 1,5 раза.

Также нами была подтверждена возможность передачи энергии хлебопекарным дрожжам и через различные виды круп.

Передача энергии через кукурузную крупу

В ходе исследования передачи энергии хлебопекарным дрожжам через обработанную МВИ кукурузную крупу было установлено, что при выдержке дрожжей в кукурузной крупе 5 мин их активность повысилась в 1,2 раза, а в течении 10 минут – в 1,7 раз.

Авторами (Сулейманова и др., 2011) представлено, что микроволны с определёнными параметрами

действующего поля могут существенно стимулировать рост, развитие и продуктивность живых организмов. Такая выраженная биологическая активность микроволн даёт возможность направленного благоприятного изменения, улучшения свойств биосистем, что особенно важно для развития современных направлений биотехнологии.

Передача энергии через гречневую крупу (дробленную)

В ходе исследования передачи энергии хлебопекарным дрожжам через обработанный микроволнами гречневый продел было установлено, что при выдержке дрожжей в течение 5 минут их активность не повысилась, а течение 10 минут - увеличилась в 2,2 раза.

Полученные данные, отличающиеся от данных, представленных авторами⁴ по способу активации хлебопекарных дрожжей, который состоит в при-

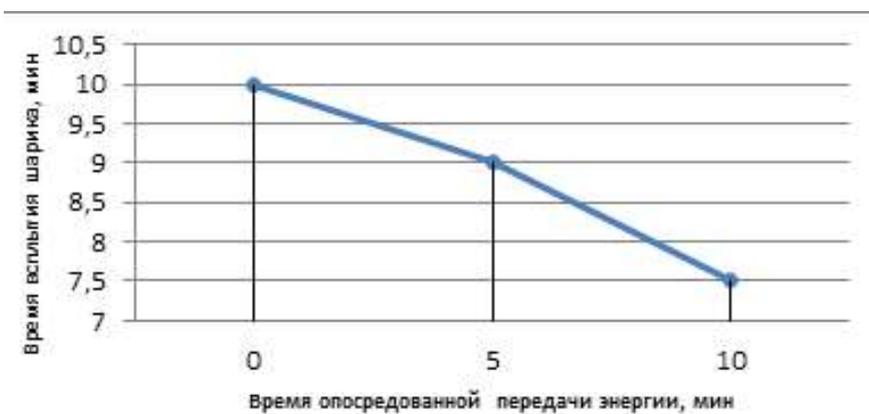


Рисунок 9. Опосредованная передача энергии (в качества передатчика энергии - кукурузная крупа)

⁴ Шестаков, С. Д., Поландова, Р. Д., & Волохова, Т. П. (2002). Способ активации хлебопекарных дрожжей (РФ Патент № 2184145). https://yandex.ru/patents/doc/RU2000105151A_20020327

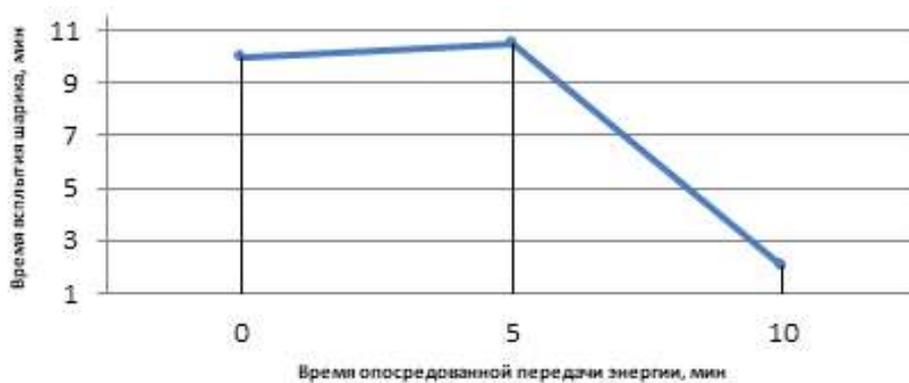


Рисунок 10. Опосредованная передача энергии (в качества передатчика энергии - гречневая крупа)

готовлении мучной суспензии, ультразвуковой обработке этой суспензии при постоянном перемешивании и последующем внесении в нее дрожжей и их адаптации. Данный способ приводит к гибели микроорганизмов, за счет кавитационной эрозии.

Влагопоглощение крахмала

Данные исследования изменения влагопоглощения картофельного и гречневого крахмала под действием МВИ представлены в Таблице 1 и на Рисунке 11.

Из представленных результатов следует, что предварительная обработка сухого нативного картофельного крахмала микроволнами позволила по-разному увеличивать его влагопоглощательную способность. Так обработка МВИ в течение 10 сек позволила увеличить влагопоглощательную способность крахмала незначительно (в 1,1 раза), последующее увеличение времени микроволновой обработки позволило уже существенно повысить (в 2-2,4 раза) показатель влагопоглощения по сравнению с контрольным образцом. Наибольшая адсорбция воды, в рамках заданных нами временных промежутков, наступает после обработки МВИ в течении 15 сек - увеличение в 2,4 раза.

Таблица 1
Влагопоглощение картофельного крахмала

1	Время обработки крахмала МВИ, сек	0	10	15	20	25	30	35
2	Влагопоглощение картофельного крахмала, %	50	65	135	95	90	85	85
3	Влагопоглощение гречневого крахмала, %	100	120	95	115	145	90	90

Наблюдаемое свойство влагопоглощения изменяется в виде скачков, т.к. внутренняя энергия макромолекул за счет резонансного поглощения микроволновой энергии изменяется скачками.

Полученные данные согласовываются с данными, полученными (Mollekopf et al., 2011) о том, что микроволновый нагрев влияет на морфологию гранул крахмала, что приводит к улучшению

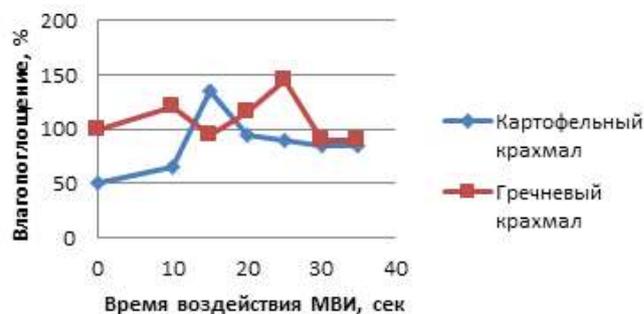


Рисунок 11. Зависимость влагопоглощение картофельного и гречневого крахмалов от времени воздействия МВИ

поглощения воды.

Из Таблицы 2 следует, что наибольшей энергией обладает заслоненный вид конформации.

На основании представленных экспериментальных данных сделан вывод о том, что для повышения влагопоглощения необходимо вертикальное (наиболее реакционное) расположение гидроксильных групп по отношению к плоскости пиранозного кольца. Наибольшее влагопоглощение картофельного крахмала по принципу «подобное к подобному» наблюдается в случае заслоненной конформации при времени воздействия МВИ в течение 15 сек.

Таблица 2
Избыток энергии конформаций

Конформация	Избыток энергии, ккал/моль
Заслоненная	3,6
Скошенная	0,8
Частично заслоненная	2,9
Заторможенная	0

Из результатов исследований следует, что для гречневого крахмала оптимальное время воздействия МВИ другое - 25 сек, а эффективность воздействия МВИ ниже (в 1,6 раза), чем у картофельного крахмала. Это можно объяснить различным строением их зерен и отличиями в энергетических механизмах воздействия.

Аналогичные результаты были сообщены (Goel et al., 2020) для нативных модифицированных образцов гречневого крахмала. Гидротермально модифицированный крахмал найдет важное применение в пищевых продуктах в качестве загустителей и кондитерских изделий.

Выводы

В ходе проведенной работы найдено новое технологическое свойство крахмалов, приобретенное после обработки МВИ, которое может быть целенаправленно использовано в пищевой промышленности.

Представлены сравнительные микрофотографии зерен картофельного крахмала, обработанного и необработанного микроволновым излучением. Выявлено, что у крахмала, обработанного МВИ произошел внешний разрыв крахмального зерна, который возможно объяснить эффектом водяного взрыва за счет быстрого испарения молекул воды из воздушного сухого крахмала с содержанием влаги 15%.

Найдены оптимальные технические параметры микроволновой обработки для опосредованной активации хлебопекарных дрожжей через крахмалопродукты.

Представлено существование потока рассеянной микроволновой энергии от облученных объектов (крахмалопродуктов) и возможность передачи другому объекту (хлебопекарные дрожжи).

Установлена целесообразность применения опосредованной передачи энергии для активации

(биологической адаптации) хлебопекарных дрожжей и как следствие интенсификации процесса теплоприготовления.

Найдены приемы модификации крахмалов для изменения их влагопоглощающей способности.

Литература

- Габдукаева, Л. З., Никитина, Е. В., & Решетник, О. А. (2014). Резистентные крахмалы как функциональный ингредиент при производстве продуктов питания. *Вестник Казанского технологического университета*, 17, 253-255.
- Кряжев, В. Н. (2010). Последние достижения химии и технологии производных крахмала. *Химия растительного сырья*, 1, 1-10.
- Кряжев, В. Н., Романов, В. В., & Широков, В. А. (2010). Последние достижения химии и технологии производных крахмала. *Химия растительного сырья*, 1, 5-12.
- Литвяк, В. В., Батян, А. Н., & Кравченко, В. А. (2018). Модификация физико-химических и экологических свойств крахмала в результате его электронного облучения. *Журнал Белорусского Государственного Университета. Экология*, 3, 62-72.
- Литвяк, В. В., Лисовская, Д. П., & Росляков, Ю. Ф. (2012). Модифицированный картофельный крахмал как студнеобразующая основа для жележных кондитерских изделий. *Известия вузов. Пищевая технология*, 2-3, 47-51.
- Литвяк, В. С. (2018). Волновое и корпускулярное строение материи-антиматерии: роль и значение пустоты в структуре. Минск: ИВЦ Минфина.
- Москва, В., Ромашко, О., Юркштович, Н., Капуцкий, Ф., & Литвяк, В. (2012). Исследование особенностей механизма химической модификации крахмала. *Наука и инновации*, 115, 64-70.
- Руськина, А. А., Попова, Н. В., Науменко, Н. В., & Руськин, Д. В. (2017). Анализ современных способов модификации крахмала как инструмента повышения его технологических свойств. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*, 5(3), 12-20. <https://doi.org/10.14529/food170302>
- Судейманова, З. Г., Исмаилов, Э. Ш., & Гаджиев, М. С. (2011). Способ повышения активности дрожжей действием микроволн тепловой интенсивности. *Вестник ДГТУ. Технические науки*, 3, 155-161.
- Ягофаров, Д. Ш., Канарский, А. В., Сидоров, Ю. Д., & Поливанов, М. А. (2012). Физико-химические свойства картофельного крахмала. *Вестник*

- Казанского технологического университета, 12, 212-215.
- Abu-Elsaud, A. M. (2015). The effect of microwave electromagnetic radio frequency on the germination and growth of seedlings of six varieties of wheat *triticum aestivum*. *Advances in Environmental Biology*, 9(24), 270-280.
- Ashogbon, A. (2021a). Recent developments in the synthesis, properties and applications of triple modification of various starches. *Starch-Starke*, 73(3-4), Article 2000125. <https://doi.org/10.1002/star.202000125>
- Ashogbon, A. O. (2021b). Dual modification of various starches: Synthesis, properties and application. *Food Chemistry*, 342(11), Article 128325. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128325>
- Das, A., & Sit, N. (2021) Modification of taro starch and starch nanoparticles by various physical methods and their characteristics. *Starch-Starke*, 73(5-6), Article 2000227. <https://doi.org/10.1002/star.202000227>
- Fan, C. L., Huang, J., Pu, H., Yang, Q., Chen, Z. G., & Zhu, Z. (2021) Cold-water solubility, oil-adsorption and enzymolysis properties of amorphous granular starches. *Food hydrocolloids*, 117, Article 106669. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106669>
- Fathi, F., & Namazi, H. (2014). Characterization and free synthesis of modified potato starch solvents. *Journal of Materials Chemistry Home*, 2, 11-15.
- Goel, K., Semval, A. D., Khan, A., Kumar, S., & Sharma, G. K. (2020). Physical modification of starch: changes in glycemic index, starch fractions, physico-chemical and functional properties of heat-cooled processed buckwheat starch. *Journal of Food Science and Technology*, 57(8), 2941-2948. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04326-4>
- Guida, C., de Aguiar, A. C., & Cunha, R. L. (2021). Green starch modification methods for stabilization of Pickering emulsions: Current review and future prospects. *Current Opinion in Food Science*, 38, 52-61. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.10.017>
- Gupta, A. D., Rawat, K. P., Bhadauria, V., & Singh, H. (2021). Recent trends in the use of modified starch in the adsorption of heavy metals from water: An overview. *Carbohydrate Polymers*, 269, Article 117763. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117763>
- Haq, F., Yu, H., Wang, L., Teng, L., Haroon, M., Khan, R. U., Mehmood, S., Bilal-Ul-Amin, Ullah, R. S., Khan, A., & Nazir, A. (2019). Advances in chemical modifications of starches and their applications. *Carbohydrate Research*, 476, 12-35. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2019.02.007>
- Kushwaha, R., & Kaur, D. (2018). Recent techniques used in modification of starches: A review. In *Food technology from health to wealth and future challenges* (pp. 1-15). New Delhi: Bharti Publication.
- Lee, S.-J., Zhang, C., Lim, S. T., & Park, E., Y. (2021) The effect of a combination of dry heating and glucose addition on the behavior of starches during gluing and gelling. *International Journal of Biological Macromolecules*, 183, 1302-1308. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.05.081>
- Manilla, B., Castagna, N., Rojas, M. L., & Augusto, P. E. (2021). New technologies to improve starch efficiency. *Current Opinion in Food Science*, 37, 26-36.
- Mollekopf, N., Treppe, K., Fiala, P., & Dixit, O. (2011). Vacuum Microwave Treatment of Potato Starch and the Resultant Modification of Properties. *Chemie Ingenieur Technik*, 83(3), 262-272. <https://doi.org/10.1002/cite.201000105>
- Namazi, H., Fathi, F., & Dadha, A. (2018). Hydrophobically modified starch using long-chain fatty acids to produce nanoscale starch particles. *Scientia Iranica*, 18(3), 439-445. <https://doi.org/10.1016/j.scient.2011.05.006>
- Obadi, M., & Xu, B. (2021). Review of the physicochemical properties, modifications and applications of starches and their common modified forms used in noodle products. *Food Hydrocolloids*, 112, Article 106286. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106286>
- Okonkwo, V. K., Kwofie, E. M., Mba, O., & Ngadi, M. O. (2021). The effect of thermosonic operation on the quality indicators of starch-based sauces. *Ultrasound Sonochemistry*, 73, Article 105473. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105473>
- Okur, I., Sezer, P., Oztop, M. H., & Alpas, H. (2021). Recent achievements in the field of gelatinization and retrogradation of starch at high hydrostatic pressure. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(9), 4367-4375.
- Raghunathan, R., Pandiselvam, R., Kothakota, A., & Khaneghah, A. M. (2021). Application of new non-thermal technologies for modification of grain starches. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 138, Article 110795. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110795>
- Ren, Y., Yuan, T. Z., Chingwedere, C. M., & Ai, Y. (2021). Current review of the structure, functional properties and industrial applications of pulsed starches for value-added use. *Comprehensive Reviews in the Field of Food Science and Food Safety*, 20(3), 3061-3092. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12735>
- Wang, Y., Chen, L., Yang, T., Ma, Y., McClements, D., Ren, F., Tian, Y., & Jin, Z. (2021). Review of

- structural transformations and changes in starch properties during heat treatment of food products. *Food Hydrocolloids*, 113, Article 106543. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106543>
- Xie, F., Zhang, H., Wu, Y., Xia, Y., & Ai, L. (2021). The effect of tamarind seed polysaccharide on the physico-chemical properties of corn starch processed by homogenization under high pressure. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 150(1), Article 112010. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112010>
- Xie, Y., Yan, M., Yuan, S., Sun, S., & Huo, Q. (2013). The effect of microwave processing on the physico-chemical properties of potato starch granules. *Chemistry Central Journal*, 7, Article 113. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-7-113>
- Yi, X., & Li, C. (2021). Main controllers for improving the content of resistant starch in boiled white rice. *Food Hydrocolloids*, 122(1), Article 107083. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107083>
- Zia-ud-Din, Xiang, H., & Fei, P. (2017). Physical and chemical modification of starches: A review. *Critical Reviews in the Field of Food Science and Nutrition*, 57(12), 2691-2705. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1087379>

Microwave Modification of Carbohydrates

Tatyana V. Shevchenko

*Kemerovo State University
6 Krasnaya Street, Kemerovo, 650000, Russian Federation
E-mail: tatyana.shevchenko.1948@mail.ru*

Yulia V. Ustinova

*Kemerovo State University
6 Krasnaya Street, Kemerovo, 650000, Russian Federation
E-mail: yul48888048@yandex.ru*

Konstantin B. Plotnikov

*Kemerovo State University
6 Krasnaya Street, Kemerovo, 650000, Russian Federation
E-mail: k.b.plotnikov.rf@gmail.com*

Anatoly M. Popov

*Kemerovo State University
6 Krasnaya Street, Kemerovo, 650000, Russian Federation
E-mail: popov4116@yandex.ru*

Aleksandra A. Zhalnina

*Kemerovo State University
6 Krasnaya Street, Kemerovo, 650000, Russian Federation
E-mail: qwert1776@yandex.ru*

One of the main tasks facing the food industry today is the production of a new generation of food products with specified quality characteristics. The analysis shows that two main new directions are considered in the literature - the use of new types of raw materials and changes in the properties and technologies of preparation of traditional raw materials. The development of techniques of known technologies will accelerate the improvement of processing of native food raw materials and production waste in order to obtain target products with new predictable properties. The purpose of this study is to analyze the effect of microwave radiation on the change in the properties of starch powders and the indirect transfer of yeast energy to starch products. Various types of starch were analyzed: tuberous (potato) and grain (buckwheat). When microwave exposure (MVI) to starch, the energy of microwaves in the centimeter range with a frequency of 2.45 GHz was used. Such a small energy of MVI corresponds to the energy of rotation of atoms in molecules around the valence σ -bond and contributes to the emergence of rotational isomerism. The possibilities of controlling the properties of starch by changing the conformation of the polymer chain under the influence of microwave radiation are considered. The optimal technical parameters of microwave processing with a frequency of 2.45 GHz for the indirect activation of baking yeast through starch products have been determined. A technology of indirect energy transfer to baking yeast due to processed starch products has been developed. Methods of starch modification to change their moisture-absorbing ability have been found. Pretreatment of dry native potato starch with microwaves for 10 seconds allowed to increase the moisture absorption capacity of starch slightly (by 1.1 times), the subsequent increase in the time of microwave processing has already significantly increased (by 2-2.4 times) the moisture absorption index compared to the control sample. The greatest adsorption of water, within the time intervals set by us, occurs after the treatment of MVI for 15 seconds - an increase of 2.4 times. For buckwheat starch, the optimal time of exposure to MVI is 25 seconds, and the effectiveness of exposure to MVI is lower (1.6 times) than that of potato starch. The use of modified starch in the food industry is most effective in the production technology of low-grade sausages, for binding free moisture.

Keywords: carbohydrates, starch, starch products, baking yeast, microwave radiation, modification

References

- Gabdukaeva, L. Z., Nikitina, E. V., & Reshetnik, O. A. (2014). Rezistentnye krakhmaly kak funktsional'nyi ingredient pri proizvodstve produktov pitaniya [Resistant starches as a functional ingredient in food production]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of Kazan Technological University]*, 17, 253-255.
- Kryazhev, V. N. (2010). Poslednie dostizheniya khimii i tekhnologii proizvodnykh krakhmala [Recent advances in chemistry and technology of starch derivatives]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya [Chemistry of Plant Raw Materials]*, 1, 1-10.
- Kryazhev, V. N., Romanov, V. V., & Shirokov, V. A. (2010). Poslednie dostizheniya khimii i tekhnologii proizvodnykh krakhmala [Recent advances in chemistry and technology of starch derivatives]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya [Chemistry of Plant Raw Materials]*, 1, 5-12.
- Lityyak, V. S. (2018). *Volnovoe i korpuskulyarnoe stroenie materii-antimaterii: rol' i znachenie pustoty v structure [Wave and corpuscular structure of matter-antimatter: the role and significance of emptiness in the structure]*. Minsk: IVTs Minfina.
- Lityyak, V. V., Batyan, A. N., & Kravchenko, V. A. (2018). Modifikatsiya fiziko-khimicheskikh i ekologicheskikh svoystv krakhmala v rezul'tate ego elektronogo oblucheniya. *Zhurnal Belorusskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Ekologiya [Modification of the physico-chemical and environmental properties of starch as a result of its electron irradiation]*, 3, 62-72.
- Lityyak, V. V., Lisovskaya, D. P., & Roslyakov, Yu. F. (2012). Modifitsirovannyi kartofel'nyi krakhmal kak studneobrazuyushchaya osnova dlya zheleinykh konditerskikh izdelii [Modified potato starch as a gelling base for jelly confectionery]. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya [Izvestiya vuzov. food technology]*, 2-3, 47-51.
- Moskva, V., Romashko, O., Yurkshovich, N., Kaputskii, F., & Lityyak, V. (2012). Issledovanie osobennostei mekhanizma khimicheskoi modifikatsii krakhmala [Study of the features of the mechanism of chemical modification of starch]. *Nauka i innovatsii [Science and Innovation]*, 115, 64-70.
- Rus'kina, A. A., Popova, N. V., Naumenko, N. V., & Rus'kin, D. V. (2017). Analiz sovremennykh sposobov modifikatsii krakhmala kak instrumenta povysheniya ego tekhnologicheskikh svoystv [Analysis of modern methods of starch modification as a tool to improve its technological properties]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Pishchevye i biotekhnologii [Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and biotechnology]*, 5(3), 12-20. <https://doi.org/10.14529/food170302>
- Suleimanova, Z. G., Ismailov, E. Sh., & Gadzhiev, M. S. (2011). Sposob povysheniya aktivnosti drozhzhei deistviem mikrovoln teplovoi intensivnosti [Method for increasing the activity of yeast by the action of microwaves of thermal intensity]. *Vestnik DGTU. Tekhnicheskie nauki [Bulletin of the Dagestan State Technical University. Technical science]*, 3, 155-161.
- Yagofarov, D. Sh., Kanarskii, A. V., Sidorov, Yu. D., & Polivanov, M. A. (2012). Fiziko-khimicheskie svoystva kartofel'nogo krakhmala [Physico-chemical properties of potato starch]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of Kazan Technological University]*, 12, 212-215.
- Abu-Elsaud, A. M. (2015). The effect of microwave electromagnetic radio frequency on the germination and growth of seedlings of six varieties of wheat triticum aestivum. *Advances in Environmental Biology*, 9(24), 270-280.
- Ashogbon, A. (2021a). Recent developments in the synthesis, properties and applications of triple modification of various starches. *Starch-Starke [Strong-Strong]*, 73(3-4), Article 2000125. <https://doi.org/10.1002/star.202000125>
- Ashogbon, A. O. (2021b). Dual modification of various starches: Synthesis, properties and application. *Food Chemistry*, 342(11), Article 128325. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128325>
- Das, A., & Sit, N. (2021) Modification of taro starch and starch nanoparticles by various physical methods and their characteristics. *Starch-Starke [Strong-Strong]*, 73(5-6), Article 2000227. <https://doi.org/10.1002/star.202000227>
- Fan, C. L., Huang, J., Pu, H., Yang, Q., Chen, Z. G., & Zhu, Z. (2021) Cold-water solubility, oil-adsorption and enzymolysis properties of amorphous granular starches. *Food hydrocolloids*, 117, Article 106669. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.106669>
- Fathi, F., & Namazi, H. (2014). Characterization and free synthesis of modified potato starch solvents. *Journal of Materials Chemistry Home*, 2, 11-15.
- Goel, K., Semval, A. D., Khan, A., Kumar, S., & Sharma, G. K. (2020). Physical modification of starch: changes in glycemic index, starch fractions, physico-chemical and functional properties of heat-cooled processed buckwheat starch. *Journal of Food Science and Technology*, 57(8), 2941-2948. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04326-4>
- Guida, C., de Aguiar, A. C., & Cunha, R. L. (2021). Green starch modification methods for stabilization of Pickering emulsions: Current review and future prospects. *Current Opinion in Food Science*, 38, 52-61. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.10.017>

- Gupta, A. D., Rawat, K. P., Bhadauria, V., & Singh, H. (2021). Recent trends in the use of modified starch in the adsorption of heavy metals from water: An overview. *Carbohydrate Polymers*, 269, Article 117763. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.117763>
- Haq, F., Yu, H., Wang, L., Teng, L., Haroon, M., Khan, R. U., Mehmood, S., Bilal-Ul-Amin, Ullah, R. S., Khan, A., & Nazir, A. (2019). Advances in chemical modifications of starches and their applications. *Carbohydrate Research*, 476, 12-35. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2019.02.007>
- Kushwaha, R., & Kaur, D. (2018). Recent techniques used in modification of starches: A review. In *Food technology from health to wealth and future challenges* (pp. 1-15). New Delhi: Bharti Publication.
- Lee, S.-J., Zhang, C., Lim, S. T., & Park, E., Y. (2021) The effect of a combination of dry heating and glucose addition on the behavior of starches during gluing and gelling. *International Journal of Biological Macromolecules*, 183, 1302-1308. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.05.081>
- Manilla, B., Castagna, N., Rojas, M. L., & Augusto, P. E. (2021). New technologies to improve starch efficiency. *Current Opinion in Food Science*, 37, 26-36.
- Mollekopf, N., Treppe, K., Fiala, P., & Dixit, O. (2011). Vacuum Microwave Treatment of Potato Starch and the Resultant Modification of Properties. *Chemie Ingenieur Technik*, 83(3), 262-272. <https://doi.org/10.1002/cite.201000105>
- Namazi, H., Fathi, F., & Dadha, A. (2018). Hydrophobically modified starch using long-chain fatty acids to produce nanoscale starch particles. *Scientia Iranica [Iranian Knowledge]*, 18(3), 439-445. <https://doi.org/10.1016/j.scient.2011.05.006>
- Obadi, M., & Xu, B. (2021). Review of the physico-chemical properties, modifications and applications of starches and their common modified forms used in noodle products. *Food Hydrocolloids*, 112, Article 106286. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106286>
- Okonkwo, V. K., Kwofie, E. M., Mba, O., & Ngadi, M. O. (2021). The effect of thermosonic operation on the quality indicators of starch-based sauces. *Ultrasound Sonochemistry*, 73, Article 105473. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105473>
- Okur, I., Sezer, P., Oztop, M. H., & Alpas, H. (2021). Recent achievements in the field of gelatinization and retrogradation of starch at high hydrostatic pressure. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(9), 4367-4375.
- Raghunathan, R., Pandiselvam, R., Kothakota, A., & Khaneghah, A. M.. (2021). Application of new non-thermal technologies for modification of grain starches. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie [Food Science and Technology]*, 138, Article 110795. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110795>
- Ren, Y., Yuan, T. Z., Chingwedere, C. M., & Ai, Y. (2021). Current review of the structure, functional properties and industrial applications of pulsed starches for value-added use. *Comprehensive Reviews in the Field of Food Science and Food Safety*, 20(3), 3061-3092. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12735>
- Wang, Y., Chen, L., Yang, T., Ma, Y., McClements, D., Ren, F., Tian, Y., & Jin, Z. (2021). Review of structural transformations and changes in starch properties during heat treatment of food products. *Food Hydrocolloids*, 113, Article 106543. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106543>
- Xie, F., Zhang, H., Wu, Y., Xia, Y., & Ai, L. (2021). The effect of tamarind seed polysaccharide on the physico-chemical properties of corn starch processed by homogenization under high pressure. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie [Food Science and Technology]*, 150(1), Article 112010. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112010>
- Xie, Y., Yan, M., Yuan, S., Sun, S., & Huo, Q. (2013). The effect of microwave processing on the physico-chemical properties of potato starch granules. *Chemistry Central Journal*, 7, Article 113. <https://doi.org/10.1186/1752-153X-7-113>
- Yi, X., & Li, C. (2021). Main controllers for improving the content of resistant starch in boiled white rice. *Food Hydrocolloids*, 122(1), Article 107083. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107083>
- Zia-ud-Din, Xiang, H., & Fei, P. (2017). Physical and chemical modification of starches: A review. *Critical Reviews in the Field of Food Science and Nutrition*, 57(12), 2691-2705. <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1087379>

Способы обработки картофеля перед закладкой на длительное хранение

Петров Николай Юрьевич

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет»
Адрес: 400002, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 26
ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук»
Адрес: 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 97
E-mail: npetrov60@list.ru

Бикметова Кристина Романовна

ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций
и защитного лесоразведения Российской академии наук»
Адрес: 400062, г. Волгоград, пр. Университетский, д. 97
E-mail: c.bicmetowa@yandex.ru

В период длительного хранения клубни картофеля теряют свой товарный вид и вкусовые качества, современные способы уменьшения потерь при длительном хранении картофеля включают обработку клубней при загрузке в хранилище химическими и биологическими защитно-стимулирующими средствами, а также ингибиторами прорастания. На основании данных зарубежной литературы отмечается проблема недостаточной изученности токсикологического действия основных используемых химических препаратов, в связи с этим возникает необходимость поиска альтернативы. В статье приведен обзор литературных данных касательно различных способов обработки картофеля перед закладкой на длительное хранение, с упором на использование эфирных масел в качестве более экологически безопасной альтернативы препаратам химического происхождения. В данном обзоре авторы опираются на работы, опубликованные в рецензируемых зарубежных и отечественных изданиях. Подбор релевантных источников производился в наукометрических базах данных с помощью поисковых запросов, содержащих синонимичные конструкции. Указана необходимость обработки клубней перед закладкой на длительное хранение с целью ингибирования их прорастания, а значит и обеспечения поддержания товарного вида и уровня полезных веществ. Разобраны примеры наиболее часто используемых препаратов химического и биологического происхождения. Приведена информация непосредственно о видах эфирных масел и их компонентов, используемых в качестве ингибиторов прорастания клубней картофеля. Основным выводом данного обзора является доказанная эффективность использования эфирных масел некоторых растений в качестве экологически лояльной альтернативы традиционным препаратам химического происхождения. В заключении авторы подчеркивают целесообразность использования обработки клубней картофеля перед закладкой на длительное хранение эфирными маслами следующих семейств растений: *Umbelliferae*, *Rutaceae* и *Lamiaceae*.

Ключевые слова: хранение картофеля, эфирные масла, аскорбиновая кислота, ингибиторы, ХИПК, прорастание картофеля

Введение

Картофель известен всем как популярная овощная культура, но помимо своего пищевого назначения он является сырьем для производства таких веществ, как спирт, крахмал, глюкоза, глюкозная патока, витамины и мука, декстрин, молочная кислота, ацетон, бутилен и гликоль. Картофельный крахмал широко используется в фармацевтической, текстильной, деревообрабатывающей и бумажной отраслях как связывающее, скрепляющее, структурное вещество и наполнитель, а в не-

фтедобывающих компаниях он используется для промывания каналов скважин. Также он является заменителем полистирена и других пластмасс, полностью распадающихся естественным путем, и используется, например, при производстве одноразовой посуды. Клубни картофеля содержат около 20% крахмала, также аскорбиновую кислоту и витамины группы В, предохраняющие от заболеваний нервной и кровеносной систем. Белок картофеля, туберин, содержит 14 из 20 основных аминокислот, необходимых для организма человека. Это в несколько раз больше, чем в любом другом растении.

Однако, как и большинство продуктов, по мере хранения картофель теряет товарный вид, вкусовые качества и, соответственно, полезные вещества. В среднем 2/3 потери массы картофеля при хранении приходится на испарение воды и 1/3 на расходование органических веществ при дыхании. Данные потери справедливы, если температура хранения картофеля составляет менее 5° С, при более высокой температуре усиливается процесс дыхания и сильно возрастают потери массы в результате расхода органических веществ. Так, потери массы клубней при температуре 0° С в результате испарения воды в 3 раза больше, чем в результате дыхания, а при 13° С в 1,3 раза больше.

Существуют различные приемы при длительном хранении картофеля, включающие соблюдение температурного режима, определенной влажности воздуха и степени освещенности помещения. Также есть данные о связи методов упаковки на качество хранимого картофеля. Работа Neeraj Phogat доказывает, что потери при вакуумации в 10 раз меньше, чем при упаковке в сетчатый мешок (Phogat et al., 2019).

К основным современным приемам, позволяющим значительно сократить потери при длительном хранении картофеля, относятся следующие:

- метод активного вентилирования помещения и соблюдение температурного режима;
- обработка клубней при загрузке в хранилище биологическими и химическими защитно-стимулирующими средствами и ингибиторами прорастания;
- получение генномодифицированного (ГМО) картофеля, который не подвержен гниению.

Данные приемы расположены в порядке уменьшения их применимости и популярности. Если соблюдение температурного режима и определенной влажности помещения является само собой разумеющимся, то разработка и реализация ГМО картофеля находится на стадии лабораторных исследований. Вариативность второго приема представляет для ученых наиболее широкое поле изучения и деятельности.

На данный момент наиболее распространенной является обработка клубней картофеля препаратами химического происхождения, особенно популярным можно считать препараты на основе хлорпрофама, о чём свидетельствует множество публикаций и патентных разработок (см. главу «Применение препаратов химического происхождения для обработки картофеля перед закладкой

на длительное хранение»). Однако, несмотря на доказанную эффективность и относительную безопасность данного вещества, существует исследование, ставящее под сомнение токсикологическую безопасность остаточных метаболитов хлорпрофама, а также степень изученности этой проблемы (Paul et al., 2016).

Наряду с этим возрастает количество исследований, направленных на изучение ингибирующего действия эфирных масел различных растений на прорастание клубней в период длительного хранения. Несомненным плюсом такой обработки картофеля, в сравнении с применением хлорпрофама, является обратимость действия масел и простота их удаления с поверхности клубней (Terer-Vamnlker et al., 2010).

Учитывая общемировую тенденцию к экологизации всех сфер жизни и соответствия концепции устойчивого развития, как никогда актуальным является поиск и использование альтернативы традиционной обработке клубней картофеля препаратами химического происхождения. Такой альтернативой авторы считают применение более экологически безопасных веществ, а именно эфирных масел и их отдельных активных компонентов. Особенно это актуально для районов, в которых произрастает большое количество насыщенных маслами растений (Belay et al., 2021).

Целью данной статьи является систематический обзор литературных данных, посвящённых обработке клубней биологическими и химическими защитно-стимулирующими средствами и ингибиторами прорастания с целью увеличения лёжкости картофеля и сохранения его товарного вида в течение длительного периода. Наиболее подробно будет разобрана тема использования в качестве ингибиторов прорастания эфирных масел и их компонентов.

Материалы и методы исследования

В рамках данной работы был проведен анализ российской и зарубежной литературы за более чем десятилетний период. Поиск и подбор источников производился в международных базах данных Scopus, Web of Science, NSBI, а также отечественных eLibrary.Ru и КиберЛенинка. Для поисковых запросов были использованы следующие синонимичные конструкции: хранение картофеля, эфирные масла, обработка эфирными маслами, обработка картофеля, лёжкость картофеля.

Было отобрано 33 литературных источника, в том числе 13 работ на русском языке и 20 на английском. Рассматривались публикации за временной промежуток с 2008 года по 2021 год, за исключением нескольких более ранних, представляющих интерес, статей.

Результаты и их обсуждение

Этапы хранения картофеля

Весь период хранения картофеля можно разделить на несколько этапов.

Первый этап хранения начинается сразу после уборки и длится около двух недель. Температурный режим при этом составляет от +15 до +18° С. Yi Wang в своей работе пришел к выводу, что высокие температуры (+18° С) способствуют более быстрому заживлению ран и могут иметь потенциал в улучшении качества хранения картофеля при одновременном снижении экономических потерь, связанных с потерей веса для определенных сортов (Wang et al., 2020).

Во второй фазе, продолжительностью чуть больше недели (10 дней) температура должна составлять от +12 до +14° С. В течение первых двух периодов происходит «акклиматизация» клубней, когда протекают процессы их подсыхания и заживления ран, полученных в результате уборки и транспортировки. Третий этап – основной период хранения, температурный режим колеблется от +2 до +5° С.

Именно перед третьим, самым продолжительным периодом, рекомендуют начинать обработку клубней картофеля различными ингибирующими веществами. Такая обработка нацелена на подавление прорастания клубней картофеля, а также защиту от болезней, причем использование эфирных масел, в отличие от популярных синтетических препаратов, оказывает сразу оба эффекта и набирает всё большую популярность.

Эффективность использования эфирных масел с целью сохранения товарного вида картофеля

Проведенный анализ литературы позволил выделить семейства растений, эфирные масла из которых являются наиболее исследованными и эффективными в борьбе с прорастанием столонов на клубнях картофеля.

Эфирные масла растений семейства *Rutaceae* (Руттовые) применяют как в неизменном виде, так и

используют их отдельные компоненты, активные вещества.

Olfa Lengliz с соавторами в своем исследовании использовали эфирное масло *Ruta chalepensis* L. (Рута) в качестве ингибитора прорастания картофеля. Авторы проводили обработку клубней эфирным маслом руты различной концентрации (2%, 4% и 6%), а затем измеряли длину ростков, вес клубней и окончательный вес ростков. Конечная масса проростков необработанных образцов составила 4,66%, тогда как для обработанных 6%-ным раствором эфирного масла – 0,98 %. Эти результаты можно считать достоверными, что подтверждает высокий коэффициент корреляции Пирсона (> 0,9). Был сделан вывод о том, что увеличение концентрации препарата усиливало подавление роста ростков (Lengliz et al., 2018).

Часто встречаются исследования, включающие применение эфирного масла мяты, относящейся к семейству *Lamiaceae*. Схожими показателями эффективности обладают масла растений семейства *Umbelliferae*, о чём свидетельствуют несколько нижепредставленных работ.

В своём исследовании Paula Teper-Vamnlolker с соавторами обрабатывали клубни картофеля эфирным маслом мяты, оно ингибировало появление столонов в восьми сортах картофеля при хранении в течение 6 месяцев: клубни оставались твердыми в течение 140 дней хранения. Авторы доказали обратимость ингибирующего действия масла: обработанные клубни, промытые водой, возобновили прорастание в течение нескольких дней со сниженным верхушечным доминированием. Данный вывод свидетельствует о безопасности применения эфирных масел в качестве ингибиторов прорастания (Teper-Vamnlolker et al., 2010).

Наравне с мятой колосовой (*Mentha spicata* L.) способность к подавлению прорастания наблюдали у тмина (*Carum carvi* L.) и укропа (*Anethum graveolens* L.), действие которых сравнивали с двумя химическими ингибиторами прорастания хлорпрофамом (ХИПК) и S-карвоном при различных температурах хранения (5, 10 и 15° С). Среди испытанных эфирных масел тминное масло было наиболее эффективным ингибитором прорастания и предотвращало прорастание до 180 дней при всех температурных режимах. Обработка ХИПК для предотвращения прорастания была очень эффективной только в условиях низких температур, тогда как ее эффект умень-

шался при 15° С, а прорастание начиналось после 120 дней хранения. Укропное масло эффективно предотвращало прорастание при 15° С в течение более 135 дней, прорастало менее 20% клубней. Подавляющее действие масла мяты перечной и S-карвона на ростки уменьшалось с повышением температуры хранения. При этом все виды обработки значительно снижали потерю веса по сравнению с контролем. Потеря веса клубней, обработанных тминным маслом, составила 36,1%, 46,2% и 49,6% при 5, 10 и 15° С соответственно, что ниже, чем у контроля. Авторами был сделан вывод, что использование тминного и укропного масел существенно снижает потери веса и предотвращает прорастание клубней при длительном хранении при температуре до 15° С (Şanlı & Karadoğan, 2019).

В более ранних работах отмечается, что S-карвон, в дополнение к своей биологической активности, подавляющей прорастание, ингибирует рост бактерий и грибов, таких как виды *Fusarium* и *Rhizoctonia* (Song et al., 2009). Другие заметные преимущества S-карвона по сравнению с ХИПК включают отсутствие сильного запаха, который передается пищевым продуктам при его использовании, он нетоксичен и безопасен для человека, а также меньше способствует разрушению озонового слоя по сравнению с ХИПК (Gumbo et al., 2021). Значительное количество карвонов (51–73%) содержится в эфирном масле мяты (Song et al., 2008).

Эфирное масло тмина и мяты также встречается в другой работе. David Gomez–Castillo с соавторами исследовал ингибирующее действие эфирных масел тмина (*Carum carvi* L.), мяты перечной (*Mentha piperita* L.), кориандра (*Coriandrum sativum* L.) и эвкалипта (*Eucalyptus globulus* L.). В данной работе эфирные масла мяты перечной и кориандра были наиболее эффективными ингибиторами прорастания с показателями ингибирования от 65 до 95% по сравнению с контролем. Использование этих эфирных масел также предотвращало фитопатогенное повреждение. Аналитические параметры качества, такие как содержание влаги и общее количество растворимых твердых веществ, не изменились после обработки любым из ароматических эфирных масел. Сенсорный анализ не выявил различий во внешнем виде и вкусе картофеля, обработанного эфирными маслами, и необработанных клубней. Исходя из этого, был сделан вывод об эффективности и безопасности применения данных эфирных масел при обработке картофеля в качестве ингибитора прорастания (Gómez-Castillo et al., 2013).

2%-ное эфирное масло тмина, как и гвоздики, является не только эффективным ингибитором прорастания, но и обладает противогрибковым эффектом. Abdulaziz A Al-Askar с соавторами доказали их эффективность в борьбе с плесенью *Penicillium polanicum* (Al-Askar et al., 2021).

В статье Moses S. Owolabi и соавторов показано влияние эфирных масел Мари амброзевидной (*Chenopodium ambrosioides*) и Липпии многоцветковой (*Lippia multiflora*) на прорастание хранимого картофеля. Были испытаны составы эфирных масел с глиноземом, бентонитом или каолином, как с добавкой Triton X-100, так и без нее. Результаты показали, что тестируемые масла обладают эффектом, который делает их пригодными для применения в качестве средств для подавления прорастания (Owolabi et al., 2010).

В другой работе Moses S. Owolabi с соавторами описывают влияние эфирных масел таких растений, как Ямайский мускатный орех (*Monodora myristica*), Челнобородник лимонный (*Cymbopogon citratus*), Марь амброзевидная (*Chenopodium ambrosioides*), Липпия многоцветковая (*Lippia multiflora*) и Имбирь лекарственный (*Zingiber officin*) на прорастание картофеля. Клубни, обработанные *L. multiflora* и *C. citratus*, через 14 дней имели наиболее короткие ростки 4,00 мм и 4,56 мм соответственно по сравнению с клубнями, обработанными другими маслами и контрольными образцами. Результаты обработки картофеля *C. ambrosioides* на 14 день лишь незначительно уступают результатам *C. Citratus*, столоны имеют длину 4,67 мм. По прошествии 28 дней эфирное масло *Z. officinale* обладало наибольшей активностью подавления прорастания с длиной ростка 5,65 мм. Наименьший эффект ингибирования прорастания столонов наблюдался при обработке клубней маслом *M. Myristica*, длина ростков на 28 день составляла в среднем 7,08 мм, контроль имел ростки по 8,75 мм (Owolabi et al., 2013).

Группа ученых из Китая проводила исследование по влиянию фумигации эфирным маслом цитронеллы (*Cymbopogon*) на подавление прорастания и качество клубней картофеля во время длительного хранения. Проводили разовую (0-10 день хранения) и двойную (0-10, 35-90 день хранения) обработку клубней с концентрацией действующего вещества 30 мкл/л. Измеряли изменения скорости прорастания, потери веса, крахмала, редуцирующего сахара, гиббереллинов и α -соланина. Результаты показали, что вышеуказанная фумигация может контролировать прорастание и улучшить качество клубней картофеля во вре-

мя хранения по сравнению с необработанными клубнями. Обработка маслом цитронеллы ингибировала разложение крахмала и повышение содержания редуцирующего сахара, а также подавляла производство гиббереллинов и снижала уровень α -соланина. Двухфазная фумигация в свою очередь лучше влияет на подавление ростков, чем однофазная, и обладает потенциалом для применения в производственных масштабах (Jia et al., 2019).

Перспективными являются также эфирные масла растений хвойных пород. Группа ученых во главе с Michelle Voivin проводили разработку препарата на основе остатков коры чёрной ели и бальзамической пихты. Исследователи отметили эффективность препарата на основе эфирных масел хвойных растений в борьбе болезнями и прорастанием клубней картофеля в период длительного хранения, помимо этого данная разработка позволит решить проблему утилизации коры и остаточных продуктов лесозаготовки (Voivin et al., 2021).

Механизм ингибирования был раскрыт группой ученых, рассматривающих в этом ключе более 20 видов эфирных масел. Исследование показало, что такая обработка влияет на прорастание за счет модуляции накопления восстанавливающих сахаров, этилена и экспрессии генов, участвующих в прорастании клубней, таких как ARF, ARP, AIP и ERF (Shukla et al., 2019).

Отдельные компоненты эфирных масел, используемые для увеличения лежкости картофеля

Наравне с использованием чистых эфирных масел популярны исследования ингибирующего действия их отдельных составных компонентов, например, лимонена. *Limonene* – это вещество, относящееся к терпеновым углеводородам, которое содержится в составе эфирных масел цитрусовых и хвойных растений, а также получается синтетическим путем и используется для увеличения лежкости картофеля.

В 2020 году группа ученых опубликовала исследование, подтверждающее положительное влияние цитраля на подавление прорастания клубней во время длительного хранения. Цитраль – это монотерпеновый ациклический альдегид, входящий в состав эфирных масел лемонграсса, лимона, эвкалипта и некоторых других.

Исследователи сравнивали ингибирующее действие при обработке картофеля непосредственно

альдегидом и эмульсией цитраля, образованных с помощью эмульгированной карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ). Эксперимент показал, что эмульгированные пленки имеют значительные преимущества по сравнению с прямым добавлением цитраля с точки зрения содержания активного агента, химической стабильности, пролонгированного высвобождения и эффективного ингибирования прорастания картофеля. Клубни, упакованные в полиэтиленовые пакеты непосредственно с добавлением цитраля, не показали ингибирующего действия на прорастание после 14 дней хранения при 20° С, в то время как в клубнях, упакованных с грубоэмульгированными и наноэмульгированными пленками цитраль-КМЦ, наблюдали 100% ингибирование. Данное исследование показывает перспективу использования эмульгированных пленок КМЦ в качестве активного компонента при упаковке картофеля для сохранения его качества во время продажи и хранения в домашних условиях (Arnon-Rips et al., 2020).

Исходя из вышеописанных исследований, можно выделить несколько наиболее часто используемых эфирных масел. На первом месте по эффективности стоит масло мяты и цитрусовых, далее идет масло тмина, руты и мари амброзевидной. Также встречаются упоминания об эффективности использования в качестве ингибиторов прорастания картофеля компонентов эфирных масел семейства цитрусовые.

Применение препаратов химического происхождения для обработки картофеля перед закладкой на длительное хранение

В промышленных масштабах чаще всего используют различные химические препараты, которые являются более доступными и удобными в применении, чем эфирные масла. Наиболее популярным среди таковых является хлорпрофам (ХИПК).

Наряду с этим можно встретить работы, в которых исследователи комбинируют действие химических веществ и активных компонентов эфирных масел. Например, запатентован способ обработки клубней от прорастания с использованием ХИПК и лимонена посредством аэрозольного распыления. В предлагаемом способе обработки клубней применение лимонена обеспечивает частичную замену ХИПК при обработке от прорастания

Было проведено масштабное исследование действия ХИПК как ингибитора прорастания картофеля. Информация, доступная до настоящего

времени, и данные, представленные в статье о пределе максимального остатка (ПМО) и приемлемом дневном лимите потребления (ПДЛП) ХИПК, указывают на проблемы, связанные с остатками ХИПК и его вредными метаболитами, что ставит под сомнение безопасность его использования. Токсикологическая оценка ХИПК является неполной и недостоверной, а ПМО и ПДЛП являются фиксированными, защищаемыми и рекомендуемыми. В связи с этим авторы делают вывод о том, что фиксация этих пределов должна оцениваться с учетом не только ХИПК, но и метаболитов, вырабатываемых ХИПК (Paul et al., 2016).

Двумя годами ранее Vijay Paul проводил сравнительную характеристику хлорпрофама и глиофаста, неселективного системного гербицида. Относительное сравнение между этими веществами показало, что глифосат безопаснее с точки зрения более низкой токсичности для млекопитающих, уровня загрязняющих веществ для человека (при долгосрочном применении), допустимого суточного предела потребления и допустимого предела остатка (Paul et al., 2014).

В 2018 году та же группа авторов провела масштабный анализ литературы касательно пагубных последствий постоянного использования препаратов на основе хлорпрофама. Авторы указывают на острую проблему содержания остаточных метаболитов ХИПК не только в самих клубнях картофеля, но и в продуктах его переработки, что наносит ущерб как окружающей среде, так и здоровью потребителей в целом (Vijay et al., 2018). Выводы о вреде продуктов разложения хлорпрофама, например 3-хлоранилин, можно найти и в более ранних работах (Sihtmäe et al., 2010; Smith et al., 2012).

Несмотря на указанную в вышеизложенных работах недостоверность токсикологической оценки хлорпрофама, данное вещество остается популярным ингибитором прорастания столонов, о чем свидетельствуют более поздние публикации. Тем не менее, его применение будет сокращаться, поскольку некоторые страны начали вносить ХИПК в список запрещенных веществ, особенно страны ЕС (Juncker, 2019).

В 2021 году была опубликована работа, посвященная определению эффективности применения ингибиторов прорастания при хранении сортов картофеля различного назначения, от столового до семенного материала. В результате проведен-

ных опытов авторы выявили, что наиболее эффективной является обработка картофеля столового назначения препаратом «Харвест-Макс, Р», действующим веществом которого является ХИПК, при суммарных дозах препарата 39 и 57 г/т, что обеспечивает снижение потерь картофеля на 5,1 и 7,0% соответственно. А применение препарата «Спраут-стоп» при температуре хранения 8-10° С снижает потери на 4,0-6,0%, что практически не уступает действию хлорпрофама (Мальцеви др., 2021).

Более ранняя работа Мальцева нацелена на оценку ингибирующего действия этилена (отдельно или в комбинации с уменьшенными дозами препарата «Спад-Ник») на лёжку картофеля в период длительного хранения. Исследователи отмечают, что обработка семенного и продовольственного картофеля этиленом является перспективной альтернативой химическим препаратам на основе действующего вещества хлорпрофама (Мальцев и др., 2018).

Помимо хлорпрофама остаточные метаболиты оставляет после себя другой достаточно известный ингибитор прорастания – малеиновый гидразид. К такому выводу пришли ученые, рассматривая данное вещество как альтернативу ХИПК. В исследовании фигурировал также 1,4-диметилнафталин, он не только показал свою эффективность в ингибировании прорастания, но и не оставил после себя «следов» (Visse-Mansiaux et al., 2021). 1,4-диметилнафталин, помимо проявления свойств ингибитора прорастания, ведет также к значительному снижению контаминации грибковыми инфекциями (Campbell et al., 2019).

Для предотвращения прорастания картофеля в весенний период используют также обработку следующими химическими препаратами: М-1 – метиловый эфир α -нафтилуксусной кислоты; ГМК – гидрозид малеиновой кислоты (De Blauwer et al., 2012); ТБ – 2,3,5,6-тетрахлорнитробензол. Каждый из них имеет свои преимущества и недостатки. Препарат М-1 легко применяется в любых условиях, достаточно опылить им клубни, но действует он только в контакте с клубнями, поэтому малоэффективен при хранении в условиях активного вентилирования. От этих недостатков свободен ГМК. Препарат нетоксичен, растворяется в воде, им орошают урожай за 2-3 недели до уборки клубней. ТБ оказывает слабое ингибирующее действие и предназначен для обработки семенного картофеля¹.

¹ Хранение овощей. https://znaytovar.ru/s/Xranenie_ovoshhej.html

Митрасовым Ю.Н. и соавторами было запатентовано средство, предназначенное для сохранения качества и товарного вида картофеля. Исследователями был проведен следующий эксперимент: картофель сорта «Адретта» перед закладкой на хранение очищали от грязи, помещали в деревянные ящики и закладывали на хранение при температуре хранилища 1-6о С. Через 2-3 месяца картофель обрабатывали 0,5%-ным раствором фосфорорганического олигомера. Контрольную партию смачивали водой. Данные испытаний показывают ингибирующее действие препарата, которое выражается в уменьшении количества проросших клубней в 2-2,5 раза и в большей сохранности картофеля за весь период хранения в опытной партии по сравнению с контрольной. Так масса клубня в контроле за период наблюдений уменьшилась в среднем на 90 г с 1 кг, а масса клубней, обработанных препаратом, уменьшилась лишь на 40 г. Препарат также показал защитное действие на клубни от поражения грибковыми, бактериальными и вирусными инфекциями².

U. Afek проводил эксперимент по обработке клубней стабилизированным пероксидом водорода (НРР). Образцы обрабатывали и хранили при $10 \pm 1^\circ \text{C}$ в течение 6 месяцев. За этот период хранения клубни картофеля обрабатывали НРР 4 раза, что привело к отсутствию проростков и лучшей сохранности образцов по сравнению с контрольными образцами (Afek et al., 2000).

Апашевой Л.М. и соавторами был получен патент по способу продления периода естественного покоя клубней картофеля и торможения их прорастания. Суть способа заключается в следующем: клубни обрабатывают водным раствором пероксида водорода в концентрации 0,34-1,7 г/л, подсушивают и затем обрабатывают 10-15%-ным водным раствором окисленного крахмалосодержащего продукта, который получают окислением отходов рисового производства в натриевом щелочном растворе в присутствии катализатора. Проведено несколько опытов, в результате которых процент проросших клубней составлял 80-98%, в то время как среди обработанного картофеля процент прорастания находился в пре-

делах 18-27%, за исключением одного опыта, где число проросших клубней достигло 76%. Данный метод обеспечивает продление естественного периода покоя клубней картофеля при длительном хранении³.

В 2005 году был запатентован химический способ обработки картофеля. Раствор, содержащий перекись водорода, ионы серебра, меди и цинка, а также одну из кислот (надуксусной, серной, азотной и фосфорной) в виде «сухого тумана». Эксперименты, проводимые с различными вариациями ионов и кислот в составе «сухого тумана» подтвердили эффективность использования данной смеси в качестве ингибитора прорастания картофеля. Однако в составе, содержащем более 25% перекиси водорода, наблюдалось повреждение кожицы, которое быстро развивалось до гнили⁴.

В статье Медведевой И.Н. с соавторами рассматривают способы защиты семенного картофеля в период хранения. С этой целью проводилась аэрозольная дезинфекция поверхностей стен и пола препаратом «Ди-Хлор» и дезинфекция поверхностей стен и пола темовозгонной шашкой «Тамбей». Количество клубней, обработанных препаратом «Ди-Хлор», пораженных фитофторозом, составило 6,05 т, или 11,6 % от общей массы отхода, развитие сухой гнили составило 3,03 т, или 5,8 %; количество пораженных мокрой гнилью — 2,42 т, или 4,63 % от общей отхода картофеля. В то время как при использовании шашки «Тамбей» потери от фитофтороза — 7,61 т, или 11,6 %; потери от сухой гнили — 1,00 т, или 5,8 %; потери от поражений мокрой гнилью — 3,89 т, или 7,14 % от всей массы отхода картофеля. Авторы сделали вывод о том, что применение данных препаратов позволило снизить потери картофеля при хранении вследствие развития болезней на 22,93 % при применении препарата «Тамбей», и на 22,03 % — используя препарат «Ди-Хлор» (Медведева и др., 2011).

Наряду с вышеперечисленными веществами можно выделить несколько действенных и нетоксичных химических соединений. Например, в 2021 году была доказана эффективность применения

² Митрасов, Ю. Н., Анисимова, Е. А., Кириллов, Н. А., & Яльцева, Н. С. (2002). Средство, предназначенное для сохранения картофеля (РФ Пат. 2184470 С1). Чувашский государственный университет им. И. Н. Ульянова. https://yandex.ru/patents/doc/RU2184470C1_20020710

³ Апашева, Л. М., Комиссаров, Г. Г., Овчаренко, Е. Н., Рубцова, Н. А., Сахаров, П. А., Сергеев, А. И., Полякова, М. Н., & Мартиросян, М. Ц. (2014). Способ продления периода естественного покоя клубней картофеля и торможения их прорастания (РФ Пат. 2533903 С1). Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт химической физики им. Н. Н. Семенова Российской академии наук. https://yandex.ru/patents/doc/RU2533903C1_20141127

⁴ Нир, Б. Й., & Элайху, М. (2005). Способ обработки картофеля во время хранения (РФ Пат. 2262230 С2). Пими Марион Холдинг ЛТД. https://yandex.ru/patents/doc/RU2262230C2_20051020

в качестве ингибиторов прорастания малеиновой и L-винной кислот (Bhattacharya et al., 2021).

Таким образом, можно сказать, что, в отличие от применения эфирных масел, химические вещества, используемые для обработки картофеля, более разнообразны по своей природе. Однако, несмотря на разнообразие веществ, в виду простоты применения и экономической выгоды, наиболее популярным остается использование ХИПК и препаратов на основе этого вещества.

Применение препаратов биологического происхождения для обработки картофеля перед закладкой на длительное хранение

Как альтернативу химическим веществам в обработке картофеля от прорастания ряд авторов используют препараты биологического происхождения. Данный метод является более экологичным и направлен не только на увеличение лежкости, но и на защиту от болезней.

Аксенова Е.С. в своей статье рассматривает вопросы влияния обработки клубней защитно-стимулирующими средствами биологической природы на их потери при хранении, с целью выявления наиболее эффективных, экономически обоснованных технологий хранения продовольственного картофеля, а также улучшения экологического аспекта сохранности продуктов питания. Клубни обрабатывали после прохождения лечебного периода в хранении рекомендуемыми нормами расхода биопрепаратов. В качестве защитно-стимулирующих средств были использованы такие препараты, как «Агат-25К», «Эпин», «Силк», «Крезацин» и «Циркон». Все примененные биопрепараты, за исключением «Эпина», привели к увеличению количества крупных и средних зерен крахмала по отношению к контролю в течение всего периода хранения. Наибольшее влияние на увеличение размера крахмальных зерен оказали препараты «Силк», «Крезацин» и «Циркон». Автор сделала вывод о том, что обработка клубней защитно-стимулирующими средствами биологической природы приводит к сокращению количественных потерь картофеля при хранении на 3,06-7,03 % по отношению к контролю (Аксенова, 2016).

В своей работе Зейрук В.Н. и соавторы рассматривают действие некоторых ингибиторов на лежкость картофеля. Наиболее популярным является использование с этой целью дымовой шашки «Вист». Также популярным является использование газа этилен и препаратов на основе коллоидного серебра: «Зерокс» и «Зеромикс». Авторы

(Зейрук, Пшеченков, & Васильева, 2016) утверждают, что хороший ингибирующий и сохраняющий продукцию эффект был получен в ранних исследованиях при использовании экспериментальной дымовой шашки на основе фунгицида «Вист» (действующее вещество – тиабендазол) и ингибитора «Спраутстоп» (действующее вещество – хлорпрофам) (Зейрук и др., 2016).

Суховецкая В.А. с соавторами в своей работе изучали влияние биопрепаратов на хранение картофеля. Были испытаны такие биопрепараты, как «Фитоп 8.67» и «Ризобакт СП». Авторами был сделан вывод об эффективности применения данных препаратов для уменьшения потерь картофеля при хранении. Наиболее действенным оказался препарат «Фитоп 8.67». Его применение обеспечило уменьшение потерь картофеля при хранении на 2,7 % в сравнении с необработанными клубнями и на 1,8 % при обработке клубней препаратом «Ризобакт СП» (Суховецкая и др., 2016; Печенцов & Светлаков, 2017).

Горшков В.В. и Савина О.В. в своей статье изучали влияние осенней обработки препаратом «Биопаг» на пищевую ценность и технологические свойства клубней картофеля при длительном хранении. Клубни опрыскивали раствором биопрепарата из малообъемного опрыскивателя при норме расхода 0,75 л/т. Обработку осуществляли через две недели после уборки по истечении лечебного периода. Контролем служили клубни, обработанные водой. Осенняя обработка клубней препаратом «Биопаг» способствует лучшему сохранению в них сухих веществ (на 0,60-0,62 %), крахмала (на 0,51-1,23 %), белка (на 0,04-0,14 %) и витамина С (на 2,69-2,80 мг%). Авторами был сделан вывод о том, что в обработанных клубнях медленнее накапливаются такие нежелательные продукты обмена, как редуцирующие сахара (Савина & Горшков, 2014).

Луговая Н.П. с соавторами в своей статье рассматривают способы обработки картофеля перед закладкой на хранение. В настоящее время, картофель перед закладкой на хранение чаще всего обрабатывают препаратом «Максим», с целью предотвращения развития в период хранения сухих фомозных и фузариозных гнилей, а также прорастания. Авторами было проведено теоретическое исследование и анализ существующих способов обработки картофеля и были выбраны следующие антисептические вещества: поваренная соль йодированная; йодат калия; борная кислота; перекись водорода. Также было установлено, что эффективность обработки клубней зависит от

ряда факторов: концентрации раствора препарата, равномерности распределения препарата; удерживаемости препарата на клубнях; степени покрытия обрабатываемой поверхности. Исследования, проведенные авторами, показали положительные результаты обработки картофеля выбранными антисептиками на его количественный и качественный состав (Луговая и др., 2013).

Афиногенова С.Н. и Черкасов О.В. в своей работе рассматривают безопасность обработки картофеля пищевым консервантом при хранении. Изучается действие таких ингибирующих агентов, как АВ-анолит, раствор «Полимет» и раствор сорбиновой кислоты (Е200). Стоит отметить, что передозировка первых двух препаратов может привести к нарушению требований к экологической безопасности продукта и его безвредности для организма человека. Обработка клубней перед хранением 0,2% спиртовым раствором пищевого консерванта Е200 оказалась наиболее эффективным и экологически безопасным способом хранения картофеля. Раствор сорбиновой кислоты уничтожает патогенную микрофлору на клубнях; снижает потери картофеля от фитопатогенных заболеваний при хранении; сохраняет питательные вещества и качество потребительской продукции и отвечает требованиям экологии и безопасности для организма человека (Афиногенова, 2018).

Приходько Е.С. в своей статье рассматривает влияние нескольких препаратов на хранение картофеля сорта Невский. В работе перечислено использование следующих веществ: Максим, КС и препарат на основе ризобактерии *K.planticola*. Расход на опрыскивание перед закладкой на хранение составил: препарата «Максим», «КС» – 0,4 л/т, а препарата на основе ризобактерии *K.planticola* – 5 л/т. В результате проведенных экспериментов автор говорит о том, что клубни, находящиеся на хранении после обработки препаратом на основе ризобактерии *K.Planticola*, поразились на 40% меньше, чем в контрольном варианте, и на 15-20% меньше, чем при применении препаратов «Максим» и «КС» (Приходько, 2018).

Саратова Т.Г. и Каменек Л.К. рассматривали влияние биопрепарата «Дельфин» на основе дельта эндотоксина *Bacillus thuringiensis* на возбудителя фитофтороза. Клубни картофеля обрабатывали раствором биопрепарата и после просушки укладывали в контейнеры по 10 кг (100 шт.). Для обработки 10 кг клубней использовали 2,5; 5 и 10 мл препарата в 100 мл воды. При норме расхода 10 мл/10 кг дельфин снижал число пораженных клубней с 17 (в контроле) до 12,3 (на 27,6

%) на сорте Ресурс и с 31 до 20 (36,4 %) на сорте Ильинский. При норме расхода 2,5 мл/10 кг его эффективность была невысока и находилась в пределах ошибки, а при 5 мл/10 кг число пораженных фитофторозом клубней сортов Ресурс и Ильинский снизилось по сравнению с контролем соответственно на 18,2 и 31,2 % (Сатарова & Каменёк, 2009).

М.М. Хайбуллин с соавторами исследовали эффективность применения биопрепаратов для борьбы с фитофторозом. Клубни картофеля перед закладкой на хранение опрыскивали «Фитоспорином», «Гуми» и «Борогумом» с расходом 0,5-1,0 л/т. Результаты исследований показывают, что процент общей заболеваемости под влиянием биологических препаратов снижается на 9-37 % по сравнению с контролем. Наибольшее снижение наблюдается под влиянием препарата фитоспорина 31-37 %, наименьшее под влиянием «Гуми» – 9-19 % (Хайбуллин и др., 2013).

Обработка картофеля препаратами биологического происхождения осуществляется в первую очередь для предотвращения развития различных заболеваний, а уже во вторую очередь для ингибирования прорастания столонов. Однако если объединить эти проблему в одну то, как упоминалось выше, обработка клубней направлена на увеличение лёжкости и сохранение товарного вида продукции.

В книге «Potato Production Systems» ингибиторам прорастания клубней картофеля посвящён отдельный раздел, а использование эфирных масел описано также в главе по органическому выращиванию картофеля. В данном источнике описывают ингибирующее действие мяты перичной, мяты курчавой, а также гвоздичного масла при нанесении их в виде аэрозоля на клубни картофеля через каждые несколько недель. Недостатком использования эфирных масел является их высокая летучесть, а нормальная циркуляция воздуха может способствовать выведению материала из хранилища, поэтому для достижения желаемого результата необходимо многократное или непрерывное применение (Moore et al., 2020).

Данный вид ингибиторов является более экологичным в сравнении с традиционным ХИПК, который является самым распространенным на территории США. Также с целью подавления прорастания столонов используют следующие вещества: малеиновой гидразит, незаменимы, нафталины, 3-децен-2-он, октанол-1 и другие, менее популярные вещества. Среди нафталинов

можно выделить 1,4-диметилнафталин и диизопропилнафталин, их действие основано на ингибировании на гормональном уровне.

Выводы

В данной статье были рассмотрены различные методы обработки картофеля от прорастания перед закладкой на длительное хранение. Основным условием, при несоблюдении которого любая обработка будет бессмысленной, является соблюдение определенных условий микроклимата в хранилище. Для основного периода хранения можно выделить следующее: температурный режим от +2 до +5° С, относительная влажность воздуха не менее 75% и наличие системы активного вентилирования.

При соблюдении вышеизложенных условий использование дополнительных мер по борьбе с прорастанием будет иметь максимальный эффект. Среди изученных способов обработки наиболее экологичным является использование эфирных масел и различных веществ биологического происхождения. Действие последних направлено в основном на защиту урожая от болезней, в связи с чем обработку данными веществами следует использовать в комплексе с периодической обработкой эфирными маслами или их активными компонентами.

Эфирные масла содержат компоненты, которые, помимо ингибирующего действия, препятствуют размножению патогенной микрофлоры и, соответственно, предотвращают процессы гниения и распространения различных заболеваний, таких как фитофтороз и парша. Среди популярных источников эфирных масел также можно выделить лаванду, шалфей, розмарин и различные хвойные породы. Данные растения используются как в виде букетов, раскладываемых рядом с ящиками картофеля, так и в виде эфирных масел. Во втором случае используют холодную/горячую аэрацию или же пропитывают маслами фильтровальную бумагу или ватные диски, которые затем раскладывают на клубни. В обоих способах исследователь сталкивается с проблемой кратности обработки, от которой напрямую зависит ее эффективность.

Единственным минусом применения эфирных масел можно назвать их высокую летучесть, вследствие чего для сохранения положительного эффекта обработку данными веществами следует периодически повторять. Любая кратность приме-

нения препаратов/веществ, отличная от единичной, в свою очередь склоняет конечную стоимость продукции в сторону увеличения. А производство эфирных масел само по себе является дорогостоящим, что затрудняет внедрение этих видов подавителя ростков на рынке (Daniels-Lake et al., 2013; Raut & Karuppayil, 2014).

Плюсами использования в качестве ингибиторов эфирных масел можно назвать обратимость их действия и простоту удаления с поверхности клубней. Наряду с доказанной эффективностью и безопасностью применения данный способ ингибирования прорастания картофеля является перспективной и экологичной альтернативой обработки ХИПК, токсикологическая оценка остаточных метаболитов которого не получила должного внимания.

На основании проведенного систематического обзора авторы могут рекомендовать в качестве альтернативы ХИПК использование эфирных масел растений следующих семейств: *Umbelliferae*, *Rutaceae* и *Lamiaceae*.

Литература

- Аксенова, Е. С. (2016). Инновационная тенденция в технологии хранения и переработки продовольственного картофеля. В *Уголовно-исполнительная политика и вопросы исполнения уголовных наказаний: Сборник материалов Международной научно-практической конференции* (с. 1202-1210). Рязань: Академия права и управления Федеральной службы исполнения наказаний.
- Афиногенова, С. Н. (2017). Повышение эффективности технологии хранения картофеля в хранилищах стационарного типа для сельскохозяйственного производства. В *Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: Материалы Международной научно-технической конференции* (с. 13-19). Великие Луки: Великолукская государственная сельскохозяйственная академия.
- Зейрук, В. Н., Пшеченков, К. А., & Васильева, С. В. (2016). Подготовка картофеля к хранению. *Защита и карантин растений*, 11, 36-39.
- Луговая, Н. П., Беляев, И. Ф., Лапко, Т. А., & Требухин, И. В. (2013). Способы обработки картофеля перед закладкой на хранение. *Пищевая промышленность: Наука и технологии*, 2, 38-41.
- Мальцев, С. В., Андрианов, С. В., & Митюшкин, А. В. (2021). Эффективность применения ингибиторов прорастания при хранении со-

- ртов картофеля различного целевого использования. *Картофель и овощи*, 3, 29-33. <https://doi.org/10.25630/PAV.2021.37.39.002>
- Мальцев, С. В., Пшеченков, К. А., & Зейрук, В. Н. (2018). Влияние химических и физических методов воздействия на клубни картофеля различного назначения при хранении. В *Радиационные технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности: Состояние и перспективы: Сборник докладов международной научно-практической конференции* (с. 285-289). Обнинск: Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии.
- Медведева, И. Н., Черномордик, А. О., Смолин, А. М., & Солодников, С. Ю. (2011). Эффективная защита семенного картофеля в период хранения. *Аграрный вестник Урала*, 4, 68-70.
- Печенцов, И. М., & Светлаков, А. Г. (2017). Теоретические аспекты процесса хранения картофеля. *Агропродовольственная политика России*, 6, 65-71.
- Приходько, Е. С. (2018). Влияние препаратов разного действия на хранение клубней картофеля. В *Современные тенденции в научном обеспечении АПК верхневолжского региона* (с. 72-75). Суздаль: ПресСто.
- Савина, О. В., & Горшков, В. В. (2014). Инновационная технология хранения картофеля с использованием биологического препарата Биопаг. В *Инновационные технологии производства, хранения и переработки продукции растениеводства: Материалы международной юбилейной научно-практической конференции* (с. 298-300). Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П. А. Костычева.
- Сатарова, Т. Г., & Каменёк, Л. К. (2009). Препарат для защиты клубней картофеля во время хранения. *Защита и карантин растений*, 2, 50-50а.
- Суховацкая, В. А., Кыстаубаева, А. С., & Карашаева, Ж. С. (2016). Влияние биопрепаратов на хранение картофеля. *Наука и мир*, 8, 54-56.
- Хайбуллин, М. М., Аминев, И. Н., & Ишкинина, Ф. Ф. (2013). Эффективность применения биопрепаратов для борьбы с фитотрофом в период хранения картофеля. *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*, 1, 45-46.
- Afek, U., Orenstein, J., & Nuriel, E. (2000). Using HPP (hydrogen peroxide plus) to inhibit potato sprouting during storage. *American Journal of Potato Research*, 77(1), 63-65. <https://doi.org/10.1007/BF02853663>
- Al-Askar, A. A., Rashad, E. M., Ghoneem, K. M., Mostafa, A. A., Al-Otibi, F. O., & Saber, W. I. A. (2021). Discovering *Penicillium polanicum* with High-Lytic Capacity on *Helianthus tuberosus* Tubers: Oil-Based Preservation for Mold Management. *Plants (Basel)*, 10(2), Article 413. <https://doi.org/10.3390/plants10020413>
- Arnon-Rips, H., Sabag, A., Tepper-Bamnlker, P., Chalupovich, D., Levi-Kalisman, Y., Eshel, D., Porat, R., & Poverenov, E. (2020). Effective suppression of potato tuber sprouting using polysaccharide-based emulsified films for prolonged release of citral. *Food Hydrocolloids*, 103, Article 105644. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105644>
- Belay, D. W., Asfaw, Z., Lulekal, E., & Kassa, B. (2021). Farmers' management of potato (*Solanum tuberosum* L.) late blight (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) and sprouting in Shashemene and West Shewa districts, Ethiopia. *Cogent Food & Agriculture*, 7(1), Article 1925432. <https://doi.org/10.1080/23311932.2021.1925432>
- Bhattacharya, E., Biswas, S. M., & Pramanik, P. (2021). Maleic and l-tartaric acids as new anti-sprouting agents for potatoes during storage in comparison to other efficient sprout suppressants. *Scientific Reports*, 11(1), Article 20029. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-99187-y>
- Boivin, M., Bourdeau, N., Barnabe, S., & Desgagne-Penix, I. (2021). Black spruce extracts reveal antimicrobial and sprout suppressive potentials to prevent potato (*Solanum tuberosum* L.) losses during storage. *Journal of Agriculture and Food Research*, 5, Article 100187. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100187>
- Campbell, M., Adams, R., Dobry, E., Dobson, K., Stefanick, V., & Till, J. (2019). The sprout regulating compound 1,4-dimethylnaphthalene exhibits fungistatic activity. *Journal of Agronomy Research*, 1, 27-34. <https://doi.org/10.14302/ISSN.2639-3166.JAR-18-2502>
- Daniels-Lake, B., Olsen, N., Delgado, H. L., & Zink, R. (2013). *Efficacy of potato sprout control products to minimize sprout production*. North America: North American Plant Protection Organization.
- De Blauwer, V., Demeulemeester, K., Demeyere, A., & Hofmans, E. (2012). Maleic hydrazide: Sprout suppression of potatoes in the field. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*, 77(3), 343-351.
- Gómez-Castilloa, D., Cruza, E., Iguaz, A., & Arroqui, C. (2013). Effects of essential oils on sprout suppression and quality of potato cultivars. *Postharvest Biology and Technology*, 82, 15-21. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.02.017>
- Gumbo, N., Magwaza, L. S., & Ngobese, N. Z. (2021). Evaluating ecologically acceptable sprout suppressants for enhancing dormancy and potato storability: A review. *Plants*, 10(11), Article 2307. <https://doi.org/10.3390/plants10112307>

- Jia, B., Xu, L., Guan, W., Lin, Q., Brennan, C. S., Yan, R., & Zhao, H. (2019). Effect of citronella essential oil fumigation on sprout suppression and quality of potato tubers during storage. *Food Chemistry*, 284, 254-258. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.119>
- Juncker, J. C. (2019). Reglement d'execution (UE) 2019/989 de la commission du 17 juin 2019, in L 160/11. Bruxelles: Ed by europeenne C. *Journal officiel de l'Union europeenne*, 989, 198-202.
- Lengliz, O., Mejri, J., Abderrabba, M., Khalifa, R., & Mejri, M. (2018). Ruta chalepensis L. Essential Oil: A New Antisprouting Agent for Potatoes Bioconservation. *Journal of Chemistry*, 2018, Article 8547851. <https://doi.org/10.1155/2018/8547851>
- Moore, A., Sullivan, D. M., Olsen, N., Hutchinson, P. J. S., Wharton, P., & Wenninger, E. J. (2020). Organic Potato Production. In Stark J., Thornton M., Nolte P. (Eds.). *Potato Production Systems* (pp. 101-131). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39157-7_6
- Owolabi, M. S., Lajide, L., Oladimeji, M. O., & Setzer, W. N. (2010). The Effect of essential oil formulations for potato sprout suppression. *Natural product communications*, 5(4), 645-648. <https://doi.org/10.1177/1934578X1000500431>
- Owolabi, M. S., Olowua, R. A., Lajide, L., & Oladimeji, M. O. (2013). Inhibition of potato tuber sprouting during storage by the controlled release of essential oil using a wick application method. *Industrial Crops and Products*, 45, 83-87. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.11.043>
- Paul, V., Ezekiel, R., & Pandey, R. (2016). Sprout suppression on potato: need to look beyond CIPC for more effective and safer alternatives. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 1-18. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1980-3>
- Paul, V., Pandey, R., Ezekiel, R., & Kumar, D. (2014). Potential of glyphosate as a sprout suppressant of potato (*Solanum tuberosum L.*) tubers during storage. *Indian Journal of Plant Physiology*, 19, Article 293305. <https://doi.org/10.1007/s40502-014-0106-7>
- Phogat, N., Siddiqui, S., & Dalal, N. (2019) Influence of sprout inhibiting treatments and packaging methods on storage performance of Kufri Chipsona 4 potato. *Indian Journal of Horticulture*, 76(4), 728-734. <https://doi.org/10.5958/0974-0112.2019.00115.4>
- Raut, J. S., & Karuppayil, S. M. (2014). A status review on the medicinal properties of essential oils. *Industrial Crops and Products*, 62, 250-264. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.05.055>
- Şanlı, A., & Karadoğan, T. (2019). Carvone containing essential oils as sprout suppressants in potato (*Solanum tuberosum L.*) tubers at different storage temperatures. *Potato Research*, 62, 345-360. <https://doi.org/10.1007/s11540-019-9415-6>
- Shukla, S., Pandey, S. S., Chandra, M., Pandey, A., Bharti, N., Barnawal, D., Chanotiya, C. S., Tandon, S., Darokar, M. P., & Kalra, A. (2019). Application of essential oils as a natural and alternate method for inhibiting and inducing the sprouting of potato tubers. *Food Chemistry*, 284, 171-179. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.079>
- Sihtmäe, M., Mortimer, M., Kahru, A., & Blinova, I. (2010). Toxicity of five anilines to crustaceans, protozoa and bacteria. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 75(9), 1291-1302. <https://doi.org/10.2298/JSC091219103S>
- Smith, M. J., & Bucher, G. J. E. II. (2012). Tools to study the degradation and loss of the N-phenyl carbamate chlorpropham – A comprehensive review. *Environment International*, 49, 38-50. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.08.005>
- Song, X., Bandara, M., & Tanino, K. K. (2008). Potato dormancy regulation: Use of essential oils for sprout suppression in potato storage. *Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology*, 2, 110-117.
- Song, X., Bandara, M., Nash, B., Thomson, J., Pond, J., Wahab, J. & Tanino, K. K. (2009). Use of essential oils in sprout suppression and disease control in potato storage. *Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology*, 3, 95-101.
- Teper-Bamnlker, P., Dudai, N., Fischer, R., Belausov, E., Zemach, H., Shoseyov, O., Eshel, D. (2010). Mint essential oil can induce or inhibit potato sprouting by differential alteration of apical meristem. *Planta*, 232(1), 179-186. <https://doi.org/10.1007/s00425-010-1154-5>
- Vijay, P., Ezekiel, R., & Pandey, R. (2018). Use of CIPC as a potato sprout suppressant: Health and environmental concerns and future options. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 10, 17-24. <https://doi.org/10.3920/QAS2017.1088>
- Visse-Mansiaux, M., Tallant, M., Brostaux, Y., Delaplace, P., Vanderschuren, H., & Dupuis, B. (2021). Assessment of pre- and post-harvest anti-sprouting treatments to replace CIPC for potato storage. *Postharvest Biology and Technology*, 176, Article 111540. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111540>
- Wang, Y., Naber, M. R., & Crosby, T. (2020). Effects of wound-healing management on potato post-harvest storability. *Agronomy*, 10(4), Article 512. <https://doi.org/10.3390/agronomy10040512>

Overview of Methods of Processing Potatoes before Laying for Long-Term Storage

Nikolay Yu. Petrov

*Volgograd State Agricultural University
Federal Research Center of Agroecology of
the Russian Academy of Sciences
97, University Prospect, Volgograd, 400062, Russian Federation
E-mail: npetrov60@list.ru*

Kristina R. Bikmetova

*Federal Research Center of Agroecology of
the Russian Academy of Sciences
97, University Prospect, Volgograd, 400062, Russian Federation
E-mail: c.bikmetova@yandex.ru*

During the period of long-term storage, potato tubers lose their marketable appearance and taste, modern methods to reduce losses during long-term storage of potatoes include treating tubers when loaded into storage with chemical and biological protective and stimulating agents, as well as germination inhibitors. Based on the data of foreign literature, the problem of insufficient knowledge of the toxicological effects of the main chemicals used is noted, in connection with this, there is a need to find an alternative. The article provides a review of the literature on various methods of processing potatoes before laying for long-term storage, with an emphasis on the use of essential oils as a more environmentally friendly alternative to chemicals of chemical origin. In this review, the authors rely on works published in peer-reviewed foreign and domestic publications. Relevant sources were selected in scientometric databases using search queries containing synonymous constructions. The necessity of processing tubers before laying for long-term storage in order to inhibit their germination, and hence to ensure the maintenance of the presentation and the level of nutrients, is indicated. Examples of the most commonly used drugs of chemical and biological origin are analyzed. Information is provided directly on the types of essential oils and their components used as inhibitors of the germination of potato tubers. The main conclusion of this review is the proven effectiveness of the use of essential oils of some plants as an environmentally friendly alternative to traditional drugs of chemical origin. In conclusion, the authors emphasize the expediency of using the treatment of potato tubers before long-term storage with essential oils of the following plant families: Umbelliferae, Rutaceae and Lamiaceae.

Keywords: potato storage, essential oils, ascorbic acid, inhibitors, CIPC, potato germination.

References

- Afinogenova, S. N. (2017). Povyshenie effektivnosti tekhnologii khraneniya kartofelya v khranilishchakh statsionarnogo tipa dlya sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva [Improving the efficiency of potato storage technology in stationary storage facilities for agricultural production]. In *Nauchno-tekhnicheskii progress v sel'skokhozyaistvennom proizvodstve: Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [Scientific and technological progress in agricultural production: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference] (pp. 13-19). Velikie Luki: Velikolukskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaistvennaya akademiya.
- Aksenova, E. S. (2016). Innovatsionnaya tendentsiya v tekhnologii khraneniya i pererabotki prodovol'stvennogo kartofelya [Innovative Trend in Ware Potato Storage and Processing Technology]. In *Ugolovno-ispolnitel'naya politika i voprosy ispolneniya ugovnykh nakazanii: Sbornik materialov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Penitentiary Policy and Issues of the Execution of Criminal Sanctions: Collection of Materials of the International Scientific and Practical Conference] (pp. 1202-1210). Ryazan': Akademiya prava i upravleniya Federal'noi sluzhby ispolneniya nakazanii.
- Khaibullin, M. M., Aminev, I. N., & Ishkinina, F. F. (2013). Effektivnost' primeneniya biopreparatov dlya bor'by s fitoftorozom v period khraneniya kartofelya [The effectiveness of the use of biological products to combat late blight during storage of potatoes]. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Bashkir State Agrarian University], 1, 45-46.

- Lugovaya, N. P., Belyaev, I. F., Lapko, T. A., & Trebukhin, I. V. (2013). Sposoby obrabotki kartofelya pered zakladkoi na khranenie [Methods for processing potatoes before storage]. *Pishchevaya promyshlennost': Nauka i tekhnologii [Food Industry: Science and Technology]*, 2, 38-41.
- Mal'tsev, S. V., Andrianov, S. V., & Mityushkin, A. V. (2021). Effektivnost' primeneniya ingibitorov prorastaniya pri khraneni sortov kartofelya razlichnogo tselevogo ispol'zovaniya [The effectiveness of the use of germination inhibitors during storage of potato varieties for various purposes]. *Kartofel' i ovoshchi [Potatoes and Vegetables]*, 3, 29-33. <https://doi.org/10.25630/PAV.2021.37.39.002>
- Mal'tsev, S. V., Pshechenkov, K. A., & Zeiruk, V. N. (2018). Vliyanie khimicheskikh i fizicheskikh metodov vozdeistviya na klubni kartofelya razlichnogo naznacheniya pri khraneni [Influence of chemical and physical methods of influence on potato tubers for various purposes during storage]. In *Radiatsionnye tekhnologii v sel'skom khozyaistve i pishchevoi promyshlennosti: Sostoyanie i perspektivy: Sbornik dokladov mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [Radiation technologies in agriculture and food industry: Status and prospects: Collection of reports of the international scientific-practical conference]* (pp. 285-289). Obninsk: Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut radiologii i agroekologii.
- Medvedeva, I. N., Chernomordik, A. O., Smolin, A. M., & Solodnikov, S. Yu. (2011). Effektivnaya zashchita semennogo kartofelya v period khraneniya [Effective protection of seed potatoes during storage]. *Agrarnyi vestnik Urala [Agrarian Bulletin of the Urals]*, 4, 68-70.
- Pechentsov, I. M., & Svetlakov, A. G. (2017). Teoreticheskie aspekty protsesssa khraneniya kartofelya [Theoretical aspects of the potato storage process]. *Agroprodovol'stvennaya politika Rossii [Agri-Food Policy of Russia]*, 6, 65-71.
- Prikhod'ko, E. S. (2018). Vliyanie preparatov raznogo deistviya na khranenie klubnei kartofelya [The influence of preparations of different actions on the storage of potato tubers]. In *Sovremennye tendentsii v nauchnom obespechenii APK verkhnevolzhskogo regiona [Modern trends in the scientific support of the agro-industrial complex of the Upper Volga region]* (pp. 72-75). Suzdal': PresSto.
- Satarova, T. G., & Kamenek, L. K. (2009). Preparat dlya zashchity klubnei kartofelya vo vremya khraneniya [Preparation for protection of potato tubers during storage]. *Zashchita i karantin rastenii [Plant Protection and Quarantine]*, 2, 50-50a.
- Savina, O. V., & Gorshkov, V. V. (2014). Innovatsionnaya tekhnologiya khraneniya kartofelya s ispol'zovaniem biologicheskogo preparata Biopag [Innovative potato storage technology using the biological preparation Biopag]. In *Innovatsionnye tekhnologii proizvodstva, khraneniya i pererabotki produktsii rastenievodstva: Materialy mezhdunarodnoi yubileinoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [Innovative technologies for the production, storage and processing of crop products: Proceedings of the International Anniversary Scientific and Practical Conference]* (pp. 298-300). Ryazan': Ryazanskii gosudarstvennyi agrotekhnologicheskii universitet im. P. A. Kostycheva.
- Sukhovetskaya, V. A., Kystaubaeva, A. S., & Karashaeva, Zh. S. (2016). Vliyanie biopreparatov na khranenie kartofelya [The influence of biological products on the storage of potatoes]. *Nauka i mir [Science and Peace]*, 8, 54-56.
- Zeiruk, V. N., Pshechenkov, K. A., & Vasil'eva, S. V. (2016). Podgotovka kartofelya k khraneniyu [Preparing potatoes for storage]. *Zashchita i karantin rastenii [Plant Protection and Quarantine]*, 11, 36-39.
- Afek, U., Orenstein, J., & Nuriel, E. (2000). Using HPP (hydrogen peroxide plus) to inhibit potato sprouting during storage. *American Journal of Potato Research*, 77(1), 63-65. <https://doi.org/10.1007/BF02853663>
- Al-Askar, A. A., Rashad, E. M., Ghoneem, K. M., Mostafa, A. A., Al-Otibi, F. O., & Saber, W. I. A. (2021). Discovering Penicillium polanicum with High-Lytic Capacity on Helianthus tuberosus Tubers: Oil-Based Preservation for Mold Management. *Plants (Basel)*, 10(2), Article 413. <https://doi.org/10.3390/plants10020413>
- Arnon-Rips, H., Sabag, A., Tepper-Bamnlker, P., Chalupovich, D., Levi-Kalisman, Y., Eshel, D., Porat, R., & Poverenov, E. (2020). Effective suppression of potato tuber sprouting using polysaccharide-based emulsified films for prolonged release of citral. *Food Hydrocolloids*, 103, Article 105644. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105644>
- Belay, D. W., Asfaw, Z., Lulekal, E., & Kassa, B. (2021). Farmers' management of potato (Solanum tuberosum L.) late blight (Phytophthora infestans (Mont.) de Bary) and sprouting in Shashemene and West Shewa districts, Ethiopia. *Cogent Food & Agriculture*, 7(1), Article 1925432. <https://doi.org/10.1080/23311932.2021.1925432>
- Bhattacharya, E., Biswas, S. M., & Pramanik, P. (2021). Maleic and l-tartaric acids as new anti-sprouting agents for potatoes during storage in comparison to other efficient sprout suppressants. *Scientific Reports*, 11(1), Article 20029. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-99187-y>
- Boivin, M., Bourdeau, N., Barnabe, S., & Desgagne-Penix, I. (2021). Black spruce extracts reveal antimicrobial and sprout suppressive potentials to prevent potato (Solanum tuberosum L.) losses during storage. *Journal of Agriculture and Food*

- Research*, 5, Article 100187. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100187>
- Campbell, M., Adams, R., Dobry, E., Dobson, K., Stefanick, V., & Till, J. (2019). The sprout regulating compound 1,4-dimethylnaphthalene exhibits fungistatic activity. *Journal of Agronomy Research*, 1, 27-34. <https://doi.org/10.14302/ISSN.2639-3166.JAR-18-2502>
- Daniels-Lake, B., Olsen, N., Delgado, H. L., & Zink, R. (2013). *Efficacy of potato sprout control products to minimize sprout production*. North America: North American Plant Protection Organization.
- De Blauwer, V., Demeulemeester, K., Demeyere, A., & Hofmans, E. (2012). Maleic hydrazide: Sprout suppression of potatoes in the field. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*, 77(3), 343-351.
- Delaplace, P., Brostaux, Y., Fauconnier, M. L., & du Jardin, P. (2008). Potato (*Solanum tuberosum* L.) tuber physiological age index is a valid reference frame in postharvest ageing studies. *Postharvest Biology and Technology*, 50(1), 103-106. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.03.002>
- Gómez-Castillo, D., Cruza, E., Iguaz, A., & Arroqui, C. (2013). Effects of essential oils on sprout suppression and quality of potato cultivars. *Postharvest Biology and Technology*, 82, 15-21. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.02.017>
- Gumbo, N., Magwaza, L. S., & Ngobese, N. Z. (2021). Evaluating ecologically acceptable sprout suppressants for enhancing dormancy and potato storability: A review. *Plants*, 10(11), Article 2307. <https://doi.org/10.3390/plants10112307>
- Jia, B., Xu, L., Guan, W., Lin, Q., Brennan, C. S., Yan, R., & Zhao, H. (2019). Effect of citronella essential oil fumigation on sprout suppression and quality of potato tubers during storage. *Food Chemistry*, 284, 254-258. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.119>
- Juncker, J. C. (2019). Reglement d'execution (UE) 2019/989 de la commission du 17 juin 2019, in L 160/11. Bruxelles: Ed by europeenne C. *Journal officiel de l'Union europeenne*, 989, 198-202.
- Lengliz, O., Mejri, J., Abderrabba, M., Khalifa, R., & Mejri, M. (2018). Ruta chalepensis L. Essential Oil: A New Antisprouting Agent for Potatoes Bioconservation. *Journal of Chemistry*, 2018, Article 8547851. <https://doi.org/10.1155/2018/8547851>
- Moore, A., Sullivan, D. M., Olsen, N., Hutchinson, P. J. S., Wharton, P., & Wenninger, E. J. (2020). Organic Potato Production. In Stark J., Thornton M., Nolte P. (Eds.). *Potato Production Systems* (pp. 101-131). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-39157-7_6
- Owolabi, M. S., Lajide, L., Oladimeji, M. O., & Setzer, W. N. (2010). The Effect of essential oil formulations for potato sprout suppression. *Natural product communications*, 5(4), 645-648. <https://doi.org/10.1177/1934578X1000500431>
- Owolabi, M. S., Olowua, R. A., Lajide, L., & Oladimeji, M. O. (2013). Inhibition of potato tuber sprouting during storage by the controlled release of essential oil using a wick application method. *Industrial Crops and Products*, 45, 83-87. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.11.043>
- Paul, V., Ezekiel, R., Pandey, R. (2016). Sprout suppression on potato: need to look beyond CIPC for more effective and safer alternatives. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 1-18. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1980-3>
- Paul, V., Pandey, R., Ezekiel, R., & Kumar, D. (2014). Potential of glyphosate as a sprout suppressant of potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers during storage. *Indian Journal of Plant Physiology*, 19, Article 293305. <https://doi.org/10.1007/s40502-014-0106-7>
- Phogat, N., Siddiqui, S., & Dalal, N. (2019) Influence of sprout inhibiting treatments and packaging methods on storage performance of Kufri Chipsona 4 potato. *Indian Journal of Horticulture*, 76(4), 728-734. <https://doi.org/10.5958/0974-0112.2019.00115.4>
- Raut, J. S., & Karuppaiyil, S. M. (2014). A status review on the medicinal properties of essential oils. *Industrial Crops and Products*, 62, 250-264. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2014.05.055>
- Şanlı, A., & Karadoğan, T. (2019). Carvone containing essential oils as sprout suppressants in potato (*Solanum tuberosum* L.) tubers at different storage temperatures. *Potato Research*, 62, 345-360. <https://doi.org/10.1007/s11540-019-9415-6>
- Shukla, S., Pandey, S. S., Chandra, M., Pandey, A., Bharti, N., Barnawal, D., Chanotiya, C. S., Tandon, S., Darokar, M. P., & Kalra, A. (2019). Application of essential oils as a natural and alternate method for inhibiting and inducing the sprouting of potato tubers. *Food Chemistry*, 284, 171-179. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.079>
- Sihtmäe, M., Mortimer, M., Kahru, A., & Blinova, I. (2010). Toxicity of five anilines to crustaceans, protozoa and bacteria. *Journal of the Serbian Chemical Society*, 75(9), 1291-1302. <https://doi.org/10.2298/JSC091219103S>
- Smith, M. J., & Bucher, G. J. E. II. (2012). Tools to study the degradation and loss of the N-phenyl carbamate chlorpropham – A comprehensive review. *Environment International*, 49, 38-50. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.08.005>
- Song, X., Bandara, M., & Tanino, K. K. (2008). Potato dormancy regulation: Use of essential oils for sprout suppression in potato storage. *Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology*, 2, 110-117.

- Song, X., Bandara, M., Nash, B., Thomson, J., Pond, J., Wahab, J. & Tanino, K. K. (2009). Use of essential oils in sprout suppression and disease control in potato storage. *Fruit, Vegetable and Cereal Science and Biotechnology*, 3, 95-101.
- Teper-Bamnolker, P., Dudai, N., Fischer, R., Belau-
sov, E., Zemach, H., Shoseyov, O., Eshel, D. (2010). Mint essential oil can induce or inhibit potato sprouting by differential alteration of apical meristem. *Planta*, 232(1), 179-186. <https://doi.org/10.1007/s00425-010-1154-5>
- Vijay, P., Ezekiel, R., & Pandey, R. (2018). Use of CIPC as a potato sprout suppressant: Health and environmental concerns and future op-
tions. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 10, 17-24. <https://doi.org/10.3920/QAS2017.1088>
- Visse-Mansiaux, M., Tallant, M., Brostaux, Y., Dela-
place, P., Vanderschuren, H., & Dupuis, B. (2021). Assessment of pre- and post-harvest anti-sprouting treatments to replace CIPC for potato storage. *Postharvest Biology and Technology*, 176, Article 111540. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2021.111540>
- Wang, Y., Naber, M. R., & Crosby, T. (2020). Effects of wound-healing management on potato post-harvest storability. *Agronomy*, 10(4), Article 512. <https://doi.org/10.3390/agronomy10040512>

Анализ дисперсного состава яичного белка методом микроскопирования

Соколов Сергей Анатольевич

*Керченский государственный морской
технологической университет*

Адрес: 298309, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, д. 82

E-mail: sokoloff1906@mail.ru

Яшонков Александр Анатольевич

*Керченский государственный морской
технологической университет*

Адрес: 298309, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, д. 82

E-mail: jashonkov@rambler.ru

В содержимом куриного яйца находятся в оптимальном соотношении все питательные вещества, необходимые для развития и поддержания жизни организма человека. Однако, даже при сравнительно непродолжительном хранении свойства яиц заметно изменяются в худшую сторону. Применяемая в настоящее время пастеризация, а также наиболее распространенные способы консервирования жидких яичепродуктов – сушка и замораживание не обеспечивают микробиологическую стабильность и сохранность полезных свойств продукта в течение его длительного хранения. Целью работы являлось совершенствование процесса обработки высоким давлением содержимого куриных яиц на основе экспериментальных исследований позволяющих установить обоснованные значения параметров процесса для повышения технологических и потребительских свойств обрабатываемого яичного сырья. В рамках исследований установлено, что обработка высоким давлением не только инактивирует микроорганизмы, но и придает новые полезные потребительские характеристики пищевым продуктам. В работе рассмотрены вопросы определения дисперсного состава образцов яичного белка методом микроскопирования. Проведен анализ дисперсного состава яичного белка после действия различного фиксированного давления при комнатной температуре. Определены зависимости площади и среднего диаметра частиц в белке от давления. Предложена математическая модель кинетики денатурации и коагуляции частиц яичного белка после его обработки внешним гидростатическим давлением при комнатной температуре. Установлено, что с повышением давления средний эквивалентный диаметр частиц в образце яичного белка после обработки давлением увеличивается. После действия давления 1009,9 МПа средний эквивалентный диаметр частиц образца увеличивается в 3,799 раза, по сравнению со средним эквивалентным диаметром частиц в яичном белке, обработанном давлением 220,4 МПа.

Ключевые слова: куриное яйцо, денатурация белка, микроскопирование, высокое давление

Введение

Куриные яйца как продукт питания

Яйца являются одним из основных продуктов для питания людей. Мировой объем производства куриных яиц за последние 30 лет вырос более чем в 3 раза: с 19,5 до 62 тыс. тонн в год. Лидерами по производству яиц, как в абсолютных величинах, так и по темпам роста их производства являются Япония, Франция, Италия (Виндхорст, 2006). Широкое использование яиц в пищевом производстве обусловлено не только их высокой питательной ценностью и отличными вкусовыми

свойствами, но и технологическими свойствами, способностью образовывать пену при сбивании, эмульгировать жиры, высокой вязкостью. Добавление яиц в тесто способствует образованию и сохранению во время перемешивания, формования и выпечки изделий воздушных пузырьков, обеспечивающих подъем теста. Яйца способствуют получению объемных продуктов с нежной консистенцией, эластичных и сжимаемых, которые после сжатия полностью восстанавливают объем, что особенно ценится потребителями.

Основными компонентами содержимого яиц, имеющими особое значение в питании, являются

белки, липиды и витамины. Белки яиц полностью усваиваются организмом человека. Поэтому аминокислотный состав белков часто выбирают для сравнения в качестве оптимального. По содержанию питательных веществ и вкусовым качествам наиболее важной частью яйца является желток. Он имеет сферическую форму, окрашен в желтый или оранжевый цвет (цвет желтка – важный показатель его качества). Между желтком и наружными оболочками яйца расположена прозрачная вязкая жидкость желтоватого оттенка (белок). По внешнему виду белок однороден, хотя его составные части имеют разную консистенцию: вязкую, полужидкую и желеобразную (Singh et al., 2015).

Белки входят в состав всех частей яйца. В белке яйца, содержатся растворимые белки, образующие в свежем яйце структурированную вязкую желеобразную жидкость. В состав яичного белка входят простые белки: овальбумин (75% всей массы яичного белка), овокональбумин (3%), овоглобулин (2%) и сложные белки-гликопротеиды (мукопротеиды): овомукоид и овомуцин (7%), в состав которых входят углеводные компоненты. В состав желтка входят сложные белки-фосфопротеиды: вителлин, ливитин и фосфофитин. Физические и биологические характеристики всех 40 яичных белков представлены в работах (Li-Chan et al., 1995; Osuga & Feeney, 1977; Mine, 1995).

Большинство технологических (пенообразующая, эмульгирующая, стабилизирующая, желеобразующая) свойств куриных яиц определяются свойствами их белков. Протеины содержатся в каждой частице яйца в разном состоянии. Так, при общей массе яйца до 70г, на одно яйцо приходится до 50% протеинов, которые находятся в растворенном состоянии в белке яйца, около 44,3% - в виде комплексных соединений с липидами – в желтке (Агафонычев и др., 2012; Штеле & Филатов, 2012; Восканян и др., 2004; Tang et al., 2021; Zhao et al., 2021).

Белок и желток представляют собой концентрированные белковые растворы, которые при тепловой денатурации образуют студни, удерживающие всю содержащуюся в них воду.

Желток начинает загустевать только при 70°C. Температура денатурации яичного белка около 65°C. Величина рН белка свежеснесенных яиц около 7,6; по мере хранения реакция среды приближается к нейтральной. Точка замерзания яичного белка $-0,42 \div -0,46^\circ\text{C}$; в процессе хранения температура начала замерзания понижается в связи с испарением влаги, а следовательно, увеличени-

ем концентрации солей, входящих в состав яичного белка.

Яичный белок в сыром виде переваривается пепсином сравнительно медленно. Денатурированный нагреванием до 70°C яичный белок почти целиком усваивается в желудочно-кишечном тракте.

При смешивании с водой яичный желток образует эмульсию. Вязкость желтка зависит от количества воды в яйце и повышается с понижением температуры. Например, при 0°C вязкость желтка приблизительно в 25 раз больше, чем при 25°C.

Температура денатурации желтка около 70°C. Температура начала замерзания желтка свежего яйца (криоскопическая температура) около $-0,6^\circ\text{C}$. Плотность желтка в среднем составляет 1,029-1,030 кг/м³. Величина рН желтка свежего яйца около 6,0.

Даже при сравнительно непродолжительном хранении свойства яиц заметно изменяются в худшую сторону. Применяемая в настоящее время пастеризация, а также наиболее распространенные способы консервирования жидких яичных продуктов – сушка и замораживание не обеспечивают микробиологическую стабильность и сохранность полезных свойств продукта в течение его длительного хранения.

Использование ВД в пищевых системах

Удовлетворение возрастающих требований общества к более здоровому образу жизни требует новых экологически чистых технологий, максимально сохраняющих натуральные компоненты и вкусовые свойства продуктов.

Наиболее перспективной и отвечающей запросам современного общества технологией, является обработка пищевых продуктов с использованием высокого давления. Обработка высоким давлением как технологическая ступень может включать в себя консервирование, модификацию или экстракцию пищевого сырья или продуктов, создание их новых форм и технологий. Технология обеззараживания высоким давлением включает в себя все преимущества обычной тепловой обработки горячей водой или паром, однако без связанных с этим явлений выщелачивания, потери питательности и органолептических характеристик пищевых продуктов, а также загрязнения окружающей среды.

Одной из важнейших сфер применения технологии высокого давления является инактивация

биологических веществ, таких, как ферменты, микроорганизмы, болезнетворные или другие микробиологические загрязнения при низких температурах.

Несмотря на многочисленные исследования, механизм гибели микроорганизмов при воздействии высокого давления изучен недостаточно. Известно, что изменяется морфология клеток, в частности, происходит их деформация, сжатие наполненных газом вакуолей, отделение клеточных мембран от стенок, модификация ядер и межмолекулярных органелл, выход содержимого клетки, уменьшение синтеза ДНК. Ингибирующий эффект на микроорганизмы может быть вызван инактивацией важнейших ферментов. Нуклеиновые кислоты более устойчивы к изостатическому давлению, чем белки. Протеазы, пероксидаза и липоксидаза при давлении до 600 МПа не теряют своей активности, а некоторые ферменты, например α – амилаза, могут восстанавливать ее. Губительное воздействие на развитие бактерий отмечается уже при 100 МПа, за исключением БГКП (бактерий группы кишечной палочки). Обработка продуктов давлением в пределах 300-900 МПа позволяет обезвредить продукт от *E. Coli* и бактерий группы *Proteus* (Рудакова, 1998). Следует отметить, что циклический характер нагружения в 500 МПа по физико-химическим показателям эффективнее статического в 700 МПа.

Высокое гидростатическое давление вызывает изменения в морфологии, мембранных ячейках и биохимических реакциях, происходящих в микроорганизмах, однако принято считать, что главной причиной, приводящей к инактивации микроорганизмов, является утечка внутриклеточных элементов при нарушении проницаемости мембран. При этом установлено, что если нарушение клеточной мембраны имело место только на внешней мембране, то нарушенная клеточная мембрана быстро восстанавливалась после снятия высокого давления (Hauben et al., 1996; Buzrul, 2021; Németh et al., 2020).

Помимо величины высокого давления, температуры и продолжительности процесса на инактивацию микроорганизмов влияют рН среды, водная активность и ряд других параметров. Обобщение результатов различных исследований позволило сформулировать ряд общих положений: микроорганизмы становятся более восприимчивы к высокому давлению при более низком значении рН среды; сублетально травмированные микроорганизмы после их обработки высоким давлением могут восстановиться в богатой пищевой среде, но

не смогут восстановиться в кислой среде; сокращение водной активности приводит к снижению уровня инактивации микроорганизмов при их обработке высоким давлением; изменение температуры обработки ниже или выше комнатной увеличивает норму инактивации микроорганизмов (Linton et al., 1999; Oxen & Knorr, 1993; Palou et al., 1997; Knorr & Heinz, 1999).

В университетах штатов Вашингтон и Огайо, Национальном центре безопасности и технологий и научной лаборатории Министерства обороны США предложен метод HPTS (High Pressure/Thermal Sterilization) – стерилизация под высоким давлением с целью достижения стабильности в отношении микробиологической безопасности, продления сроков хранения и соответствия требованиям потребителей (Holdsworth & Simpson, 2016).

Влияние ВД на белковые системы.

Процесс денатурации белка имеет огромное значение, как для фундаментальной, так и для прикладной науки. Исследование явления денатурации позволяет установить связь между структурой белка и его стабильностью и выяснить, какие при этом факторы являются определяющими. Изучение механизмов денатурации (разворачивания) белковых молекул представляет также интерес и для выяснения механизмов фолдинга (сворачивания) белка. С точки зрения пищевых технологий важность изучения денатурации белка связана с необходимостью повышения стабильности белковых продуктов при их обработке в технологических процессах.

Впервые денатурация белка в результате его обработки высоким давлением была рассмотрена Бриджменом в 1914 году (Bridgman, 1914). Более системные исследования влияния высокого давления на белок были проведены спустя 50 лет исследуя яичный альбумин (Suzuki et al., 1963), рибонуклеазы (Brandts, et al., 1970), химотрипсиноген (Hawley, 1971) и метмиоглобулин (Zipp & Kauzmann, 1973).

Окамото и др., (Okamoto et al., 1990) в своих исследованиях показали, что овальбуминовый гель, произведенный под высоким давлением, более эластичен и мягче, чем гели, обработанные нагреванием, хотя гели обычно твердеют и становятся менее вязкими при увеличении давления. Вкус и аромат гелей, обработанных давлением, имели натуральный аромат и вкус, но при этом не было разрушения витаминов и аминокислот.

Также Хаяши и др. (Hayashi, et al., 1989), были проведены исследования влияния давления при различных температурах (10, 25 и 60 °С) и уровнях pH (7,6 и 8,8), на отдельно выбранные растворы яичного белка. При этом наблюдалось, что давление вызывало увеличение помутнения, гидрофобности поверхности, и чувствительности к ферментному гидролизу, причем это вызвало увеличение растворимости белка, энтальпии денатурации и ингибиторной активности трипсина. Более того, сообщалось, что изменения в отдельных свойствах, вызванные давлением, зависели от давления, температуры и уровня pH (Plancken et al., 2005)

При обработке белков высоким давлением существенное влияние оказывает на электростатические и гидрофобные взаимодействия, приводящие к уменьшению объема. Разрушение электростатических и гидрофобных взаимодействий приводит к изменениям гидратации, которые приводят к дальнейшему уменьшению объема (Balny et al., 1992; Gharbi & Labbafi, 2018). Уменьшение объема в результате денатурации белка под действием высокого давления составляет от 30 до 300 мл/моль (Balny et al., 1992; Wong & Heremans, 1988). Изменениям, происходящим в структуре белков и реакциям, происходящим в белках при их обработке высоким давлением, были посвящены целый ряд работ исследователей в ведущих лабораториях мира (Ohmiya et al., 1989; Funtenberger et al., 1995; van Camp & Huyghebaert, 1995; Messens et al., 1997; Gekko & Hasegawa, 1986; Gekko & Yamagami, 1991).

Широкое внедрение в практику технологии обработки жидкого куриного яйца высоким давлением затруднено, в связи с тем, что, в настоящее время в достаточной мере не изучен механизм воздействия высокого давления на белок и микрофлору продукта, не определены области существования продукта с различной степенью денатурации в зависимости от параметров процесса его обработки высоким давлением; отсутствуют реологические и теоретические модели, описывающие данные процессы; не исследованы термодинамические характеристики жидкого куриного яйца при их обработке высоким давлением; не исследованы энергетические аспекты процесса обработки яиц с применением высокого давления; не изучены потребительские свойства продукта, обработанного высоким давлением. Вышеперечисленные обстоятельства и определяют актуальность исследований. Целью нашей работы являлось со-

вершенствование процесса обработки высоким давлением содержимого куриных яиц на основе экспериментальных исследований позволяющих установить обоснованные значения параметров процесса для повышения технологических и потребительских свойств обрабатываемого яичного сырья.

Материалы и методы исследования

Материалы

Для проведения экспериментальных исследований были использованы куриные яйца со сроком хранения до 3 суток, произведенные на Племенном птицеводческом заводе «Лабинский» пос. Прохладный, Краснодарский край, соответствующие ГОСТ 31654-2012 «Яйца куриные пищевые. Технические условия»¹.

Контроль свежести куриных яиц проводился для каждой новой партии с помощью лабораторного pH-метра, значения кислотности находились в интервале от 7,4 до 7,8. Массовые процентные соотношения белка, желтка и скорлупы яиц относились, как 56:32:12. Яйца были промыты водопроводной водой, затем выдержаны в течение 10 мин. в 70% растворе этанола и высушены на воздухе. После дезинфекции, яйца были разбиты вручную, у части яиц было произведено отделение желтка от белка. Из белка формировали плоскопараллельный слой толщиной 0,07 мм между предметными стеклами поляризационного микроскопа «ПОЛАМ Р-312». При помощи многоканального фотоприемника цифрового фотоаппарата «Canon EOS 700D» с использованием устройства механического и оптического сопряжения регистрировали микроизображения 5 различных полей зрения с суммарной площадью 328568 мкм².

В работе использована коммерческая компьютерная программа, разработанная в Берлинском техническом университете и адаптированная для решения поставленных задач (Jähne, 2005).

Оборудование

Обработка исследуемых образцов высоким давлением производилась на автоматизированной установке высокого давления (АУВД) (Sokolov et al., 2013), имеющей следующие технико-эксплуатационные параметры:

¹ ГОСТ 31654-2012. (2013). Яйца куриные пищевые. Технические условия. М.: Стандартинформ.

Давление в рабочей камере до 1000 МПа;

Рабочая температура от 10 до + 80°C ;

Максимальное перемещение поршня:

$H_{\max} = 0,03$ м;

Скорость перемещения поршня прессы:

от $v_{\min} = 67 \cdot 10^{-6}$ м/сек до $v_{\max} = 67 \cdot 10^{-5}$ м/с.

При минимальной скорости перемещения поршня (v_{\min}), максимальное время $t_{\max} = 7,46$ мин. При максимальной скорости перемещения поршня прессы (v_{\max}) минимальное время $t_{\min} = 0,746$ мин.

Общий вид установки приведен на Рисунке 1.



Рисунок 1. Общий вид установки высокого давления второго поколения

Инструменты

- поляризационный микроскоп «ПОЛАМ Р312-»;
- цифровой фотоаппарат «Canon EOS 700D»;
- устройство механического и оптического сопряжения;
- автоматизированная система анализа растровых микроскопических изображений.

Процедура исследования

В общем случае обработка исследуемых образцов продуктов при помощи высокого давления заключается в том, что образец, помещённый в герметически закрытую пластиковую тару, подвергается в течение заданного времени действию высокого давления. Высокое давление поддерживают в течение определённого промежутка времени, затем уравнивают с атмосферным, после чего обработанные ёмкости выгружают из рабочей камеры. Таким образом, основными параметрами, характеризующими процесс обработки, являются давление, которое необходимо поднять и поддержать в рабочей камере, температура и время, в течение которого исследуемый продукт подвергается давлению.

В нашем случае обработка исследуемых образцов белка высоким давлением состояла из следующих этапов:

1. Подготавливали камеру к созданию давления:
 - 1.1. Наполняли камеру полиэтилсилоксановой жидкостью ПЭС-3 на $\frac{1}{4}$ часть высоты рабочего объема камеры высокого давления;
 - 1.2. Устанавливали исследуемый образец;
 - 1.3. Добавляли рабочую жидкость, не доливая 3÷4 мм до верхней кромки камеры. Удаляли пузырьки воздуха, если они присутствовали;
 - 1.4. Визуально убеждались в отсутствии механических включений на поршне, устанавливали его в центральное отверстие камеры и опускали направляющую втулку до упора.
2. Подключали персональный компьютер:
 - 2.1. Запускали программу регистрации параметров эксперимента: p – давления, t – температуры, τ – время выдержки;
 - 2.2. Подготавливали блоки подготовки данных, а именно: (аналогово-цифровой преобразователь) АЦП и блок преобразователей;
 - 2.3. Подключали окно графической регистрации экспериментальных технологических параметров;
 - 2.4. Подключали опцию записи данных регистрации в файл;
3. С помощью насоса поднимали рабочее давление в камере согласно градуировке прессы и фиксировали давление.
4. Разгружали камеру в обратном порядке.
5. Контроль, регистрация и документирование исследуемых параметров в процессе обра-

ботки велись непрерывно с помощью цифрового аналогового преобразователя с выводом информации на персональный компьютер с одновременным созданием файла текущего эксперимента.

После обработки высоким давлением образцы яичного белка извлекались из эластичного контейнера и помещались на предметный столик микроскопа.

Микрофотографии образца яичного белка, обработанного гидростатическим давлением при комнатной температуре, были получены на поляризационном микроскопе проходящего света ПОЛАМ Р-211М с ахроматическим объективом 60^x и окуляром 6,3^x. Использование дистанционной системы визуализации объектов производства CANON позволило получить цифровые изображения глубиной цвета до 24 бит/пиксел (16777216 цветов, по 8 бит на канал в цветовой системе RGB) с разрешением 180 точек на дюйм.

В качестве сравнения образцов обработанных ВД был использован образец белка, прошедший тепловую обработку при атмосферном давлении, температуре 100°C в течении 15 минут.

При микроскопировании контрольного образца яичного белка в белом свете его пространственная структура не проявляется. Это говорит о том, что линейные размеры частиц дисперсной фазы в водном растворе сырого яичного белка меньше, чем средняя длина волны видимого спектрального диапазона, равная 555 нм.

Результаты и их обсуждение

Обработка высоким давлением яичного белка приводит к изменению его структуры (размеры частиц, их конфигурация, взаимное расположение и др.) на клеточном, молекулярном и межмолекулярном уровнях, возникает необходимость анализа данных дисперсных систем.

Установлено, что распределение по площадям частиц дисперсной фазы в контрольном образце яичного желтка представляет собой монотонно убывающую функцию с максимумом в диапазоне площадей от 0.00375 до 0.00875 мкм².

Распределение по площадям частиц дисперсной фазы в образце яичного желтка после обработки ВД 300 МПа в течение 15 минут при температуре

25°C является немонотонной функцией с несколькими максимумами, соответствующими увеличению количества частиц с данной площадью в сравнении с числом таких частиц в контрольном образце.

Данные результаты позволяют сделать вывод, что обработка яичного желтка ВД 300 МПа в течение 15 минут при температуре 25°C приводит к уменьшению полидисперсности системы и увеличению общего числа частиц дисперсной фазы более чем на 17%.

Анализ априорной информации и результаты дисперсного анализа состава яичного белка показали, что с увеличением давления увеличиваются линейные размеры пространственной структуры продукта. Такое состояние структуры продукта является результатом разворачивания молекул яичного белка при денатурации.

На Рисунках 2-6 приведены микрофотографии, полученные на цифровом фотоаппарате «Canon EOS 700D», образцов яичного белка, обработанных давлением 220,4; 393,6; 582,3; 814,2 и 1009,9 МПа.

На Рисунках 2-6 видно, что с повышением давления увеличиваются линейные размеры элементов пространственной структуры яичного белка. Это означает, что под действием внешнего гидростатического давления происходит денатурация (разворачивание) молекул яичного белка, степень которой тем больше, чем выше величина приложенного давления. При этом, по мере увеличения давления, на микрофотографиях более заметным становится результат срастания развернувшихся молекул между собой, а реологические свойства яичного белка приближаются к реологическим свойствам структурированной дисперсной системы с пространственно-связанной сеткой, которыми в пределе обладает яичный белок после полной тепловой денатурации. На рисунке 7 приведена микрофотография яичного белка, обработанного температурой 100°C при атмосферном давлении в течение 15 минут.

Сравнение микрофотографий на рисунках 6 и 7 демонстрирует подобие структур образца яичного белка, обработанного давлением 1009,9 МПа при комнатной температуре и обработанного температурой 100°C при атмосферном давлении. Пространственная сетка яичного белка после тепловой денатурации имеет более разветвленный характер, чем после его денатурации под действием гидростатического давления.

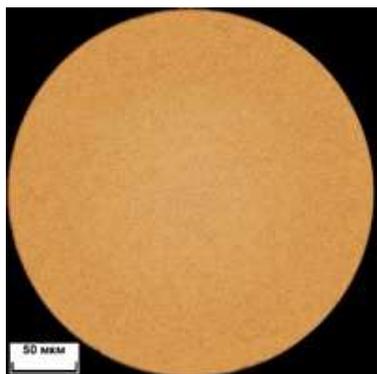


Рисунок 2. Микрофотография яичного белка, обработанного давлением 220,4 МПа

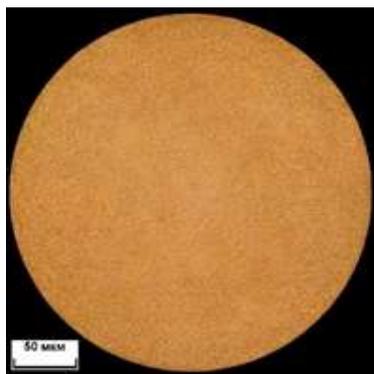


Рисунок 3. Микрофотография яичного белка, обработанного давлением 393,6 МПа

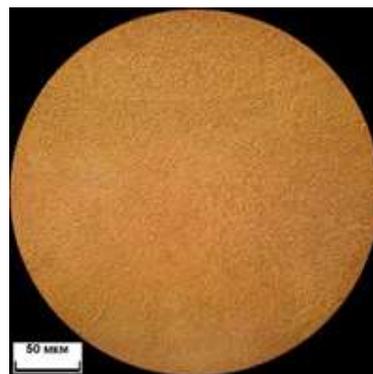


Рисунок 4. Микрофотография яичного белка, обработанного давлением 582,3 МПа

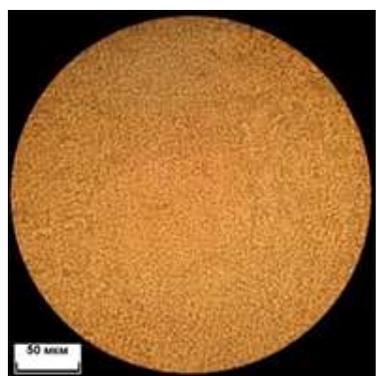


Рисунок 5. Микрофотография яичного белка, обработанного давлением 814,2 МПа

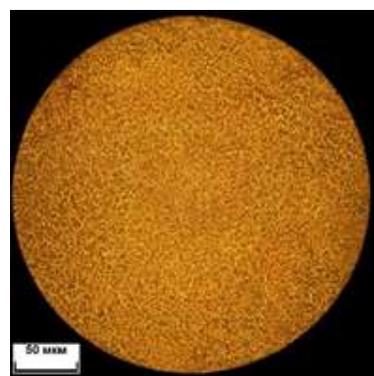


Рисунок 6. Микрофотография яичного белка, обработанного давлением 1009,9 МПа

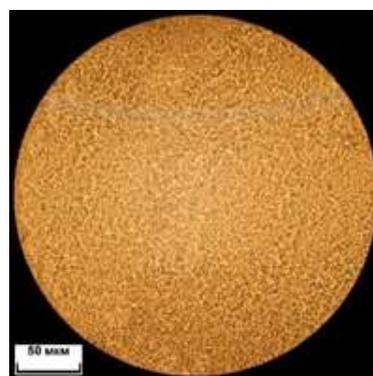


Рисунок 7. Микрофотография яичного белка, обработанного температурой 100°С при атмосферном давлении в течение 15 минут

На Рисунке 7 представлены ложные дифференциальные кривые счетного распределения по площади S частиц в образцах яичного белка после обработки различным фиксированным давлением при комнатной температуре, и после обработки температурой 100°С в течение 15 минут при атмосферном давлении.

Как видно на Рисунке 8, кривые счетного распределения по площади частиц в образцах имеют максимумы. С ростом давления самые интенсивные из них понижаются и площадь наибольшего количества частиц в образцах, обработанных давлением при комнатной температуре, монотонно увеличивается, приближаясь к площади наибольшего количества частиц в образце, обработанного температурой 100°С в течение 15 минут при атмосферном давлении. Действие внешнего гидростатического давления на яичный белок приводит, как к увеличению площади наибольшего количе-

ства частиц в образце, так и к уменьшению их количества.

Считаем, что под действием гидростатического давления увеличение площади сферических частиц в яичном белке происходит за счет двух независимых и одновременно протекающих процессов – коагуляции («слипания», например, за счет адгезионного взаимодействия частиц дисперсной фазы с макроповерхностями) и разворачивания (при денатурации молекул белка). В результате первого процесса увеличение площади происходит с уменьшением количества частиц в геометрической прогрессии. Предполагается, что «слипание» отдельных частиц между собой происходит без нарушения целостности их оболочек. При коагуляции частицы дисперсной фазы могут образовывать объемные структуры с равномерным распределением дисперсионной среды. В результате

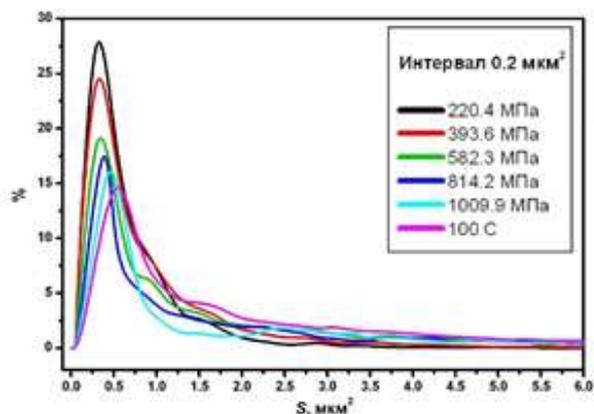


Рисунок 8. Ложные дифференциальные кривые счетного распределения по площади частиц в образцах яичного белка после обработки различным фиксированным давлением при комнатной температуре, и после обработки температурой 100°C в течение 15 минут при атмосферном давлении

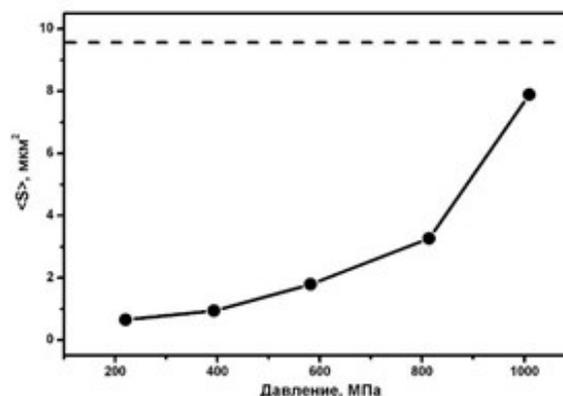


Рисунок 9. Зависимость средней площади частиц в образцах от давления. На рисунке пунктирной линией отмечена величина средней площади частиц в образце, обработанном температурой 100°C в течение 15 минут при атмосферном давлении

второго процесса, увеличение площади частиц происходит без изменения их количества до и после действия давления.

График зависимости средней площади частиц в образцах от давления показан на Рисунке 9.

На Рисунке видно, что средняя площадь частиц в образце яичного белка увеличивается с повышением давления. После обработки образца давлением 1009,9 МПа, средняя площадь частиц в яичном белке становится в 12 раз больше, чем средняя площадь частиц после обработки давлением 220,4 МПа и в 0,822 раза (на 1,7 мкм²) меньше средней площади частиц в образце вареного белка. На основании различия средних площадей частиц вареного яичного белка и обработанного давлением 1009,9 МПа можно предположить, что отличаются и пространственные структуры их молекул.

Таким образом, результаты проведенного анализа дисперсного состава яичного белка после действия внешнего гидростатического давления и температуры 100°C качественно подобны, но не одинаковы количественно.

Количественная теория кинетики коагуляции для сферических частиц была развита М. Смолуховским (Эйнштейн & Смолуховский, 1936), согласно которой частицы сталкиваются между собой в результате броуновского движения, при чем, все столкновения приводят к агрегации. Это справедливо тогда, когда энергия соударения частиц пре-

вышает среднюю энергию ΔE , необходимую для слипания. Отсюда следует, что эффективность и скорость соударений пропорциональна фактору Больцмана $\sim \exp \exp [-\Delta E / (k_B \cdot T)]$. При сжатии системы величина энергетического барьера зависит не только от температуры, но и от приложенного внешнего давления. Проводя аналогию с теорией активных столкновений, необходимо еще учитывать и пространственное расположение частиц при столкновении, их концентрацию, форму, размеры и расстояние между ними, коэффициент диффузии. Тогда скорость коагуляции будет пропорциональна $\sim A \exp \exp [-\Delta E / (k_B \cdot T)]$, где множитель A учитывает влияние перечисленных факторов.

Считаем скорость изменения площади частиц яичного белка после денатурации под действием давления пропорциональной его величине. Тогда, скорость изменения средней площади частиц в образцах при постоянной температуре T и изменении давления P опишем выражением в виде:

$$(d\langle S \rangle) / dP = S(P) + R(P), \quad (1)$$

где $S(P)$ и $R(P)$ – соответственно, скорости денатурации и коагуляции частиц яичного белка после действия внешнего давления.

Для математического моделирования экспериментальных значений скорости изменения средней площади частиц в образцах при изменении давления, представим функции $S(P)$ и $R(P)$ в виде:

$$(P) \equiv y_1(x) = A + B \cdot x, \tag{2}$$

$$R(P) \equiv y_2(x) = C \cdot \exp \exp(D \cdot x), \tag{3}$$

где A, B, C и D – числовые коэффициенты.

Тогда выражение (1) будет:

$$(d\langle S \rangle) / dP = S(P) + R(P) = y_1(x) + y_2(x) = (A+B \cdot x) + (C \exp \exp(D \cdot x)). \tag{4}$$

В Таблице приведены рассчитанные методом наименьших квадратов числовые значения коэффициентов интерполяционного выражения (4).

Таблица 1
Значения коэффициентов интерполяционного выражения (4)

Коэффициент	Числовое значение
A	-0.47188
B	0.00432
C	0.00085
D	0.0108

На Рисунке 10 показаны графики функций (2) и (3) с найденными коэффициентами и приведены экспериментальные значения скорости изменения средней площади частиц в образцах при изменении давления.

Как видно на рисунке, скорость изменения средней площади частиц в образцах при изменении давления имеет нелинейный монотонный характер. До давления около 400 МПа скорость изменения площади частиц яичного белка при повышении давления достаточно точно описывается функцией S(P). На этом основании можно предположить, что в яичном белке при давлениях от атмосферного до 400 МПа денатурация является основной причиной изменения площади частиц. С уменьшением объема образца при изотермическом сжатии увеличивается количество столкновений частиц и уменьшается величина энергетического барьера для их коагуляции. При давлениях больших 400 МПа коагуляция частиц проявляется более отчетливо и с давления около 750 МПа ее скорость начинает уже преобладать над скоростью денатурации.

Как отмечалось ранее, форма молекул яичного белка после разворачивания является лентоподобной, т.е. несферической. В качестве величины, характеризующей размер развернутой молекулы белка,

выберем эквивалентный диаметр $d_{эkv}$, равный диаметру такой условной сферической молекулы, которая имеет с ней одинаковую площадь. Эквивалентные диаметры рассчитывали по формуле:

$$d_{эkv} = (d_{макс} + d_{мин}) / 2, \tag{5}$$

где $d_{макс}$ и $d_{мин}$ – соответственно видимый наибольший и наименьший размер профиля несферической развернутой молекулы яичного белка.

На Рисунке 11 приведены ложные дифференциальные кривые счетного распределения по эквивалентному диаметру частиц в образцах яичного белка после обработки различным фиксирован-

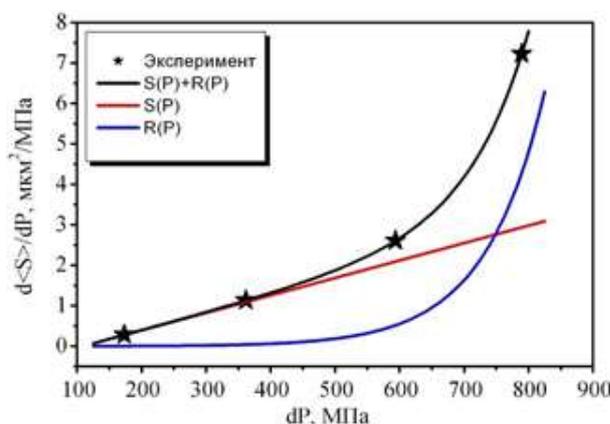


Рисунок 10. Графики функций (2), (3) и экспериментальные значения скорости изменения средней площади частиц в образцах при изменении давления

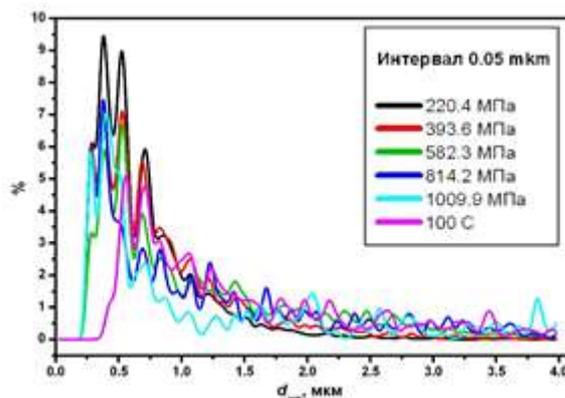


Рисунок 11. Ложные дифференциальные кривые счетного распределения по эквивалентному диаметру частиц в образцах яичного белка после обработки различным фиксированным давлением при комнатной температуре, и после обработки температурой 100 °C в течение 15 минут при атмосферном давлении

ным давлением при комнатной температуре, и после обработки температурой 100°C в течение 15 минут при атмосферном давлении.

На Рисунке 10 хорошо видно, что кривые счетного распределения по эквивалентному диаметру частиц обработанных образцов яичного белка являются немонотонными зависимостями от давления.

График зависимости среднего эквивалентного диаметра частиц в обработанных образцах от давления показан на Рисунке 12.

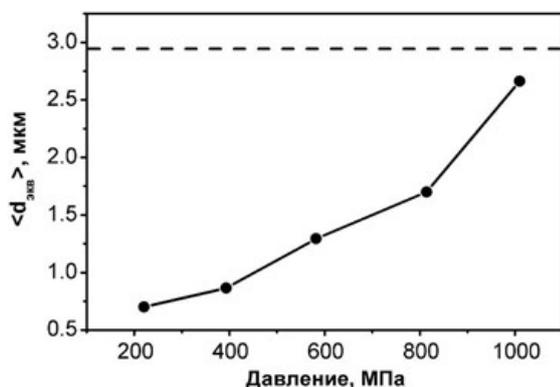


Рисунок 12. Зависимость среднего эквивалентного диаметра частиц в образцах от давления. На рисунке пунктирной линией отмечена величина среднего эквивалентного диаметра частиц в образце, обработанном температурой 100°C в течение 15 минут при атмосферном давлении

Обсуждение полученных результатов

Анализ результатов микроскопирования явно показал зависимость линейных размеров элементов пространственной структуры яичного белка от приложенного давления. Это означает, что под действием внешнего гидростатического давления происходит денатурация (разворачивание) молекул яичного белка, степень которой тем больше, чем выше величина приложенного давления. При этом, по мере увеличения давления, на микрофотографиях более заметным становится результат срастания развернувшихся молекул между собой, а реологические свойства яичного белка приближаются к реологическим свойствам структурированной дисперсной системы с пространственно-связанной сеткой, которыми в пределе обладает яичный белок после полной тепловой денатурации.

На Рисунке 12 видно, что с повышением давления средний эквивалентный диаметр частиц в образце яичного белка после обработки давле-

нием увеличивается. После действия давления 1009,9 МПа средний эквивалентный диаметр частиц образца увеличивается в 3,799 раза, по сравнению со средним эквивалентным диаметром частиц в яичном белке, обработанном давлением 220,4 МПа. При 582,3 МПа на графике нарушается монотонность функциональной зависимости среднего эквивалентного диаметра частиц яичного белка от давления, что можно объяснить, например, многоступенчатостью механизма разворачивания его молекул. Как известно (Pico, 1997), тепловая денатурация альбумина имеет обратимую и необратимую стадии. Первая – превращение «нативный белок – обратимое развернутое состояние» (63,2°C), вторая – необратимая денатурация (74,3°C). На процесс разворачивания белка оказывают влияние как растворитель (межмолекулярные взаимодействия определяются его свойствами, составом, структурой), так и вид денатурации (нагревание, охлаждение, влияние давления). В зависимости от физико-химических условий могут существовать и промежуточные формы развернутого белка (Muzammil et al., 1999).

Наблюдается отличие средних диаметров частиц, в яичном белке полученных методами светорассеяния и микроскопирования (Рисунок 12). С одной стороны, средний диаметр в первом методе определяется светорассеиванием на всех оптических неоднородностях дисперсной фазы, в число которых входят и неоднородности тонкой структуры слипшихся и развернувшихся молекул белка с широким диапазоном размеров. С другой стороны, светорассеяние происходит на сжатых молекулах белка, имеющих меньшие размеры, по сравнению с их размерами при атмосферном давлении. В методе микроскопирования проявляются все структурные элементы несжатых молекул яичного белка, позволенные разрешающей способностью микроскопа.

Выводы

1. Методом микроскопирования проведен анализ дисперсного состава яичного белка после действия различного фиксированного давления при комнатной температуре. Определены зависимости площади и среднего диаметра частиц в белке от давления.
2. На основе результатов микроскопирования предложена математическая модель кинетики денатурации и коагуляции частиц яичного белка после его обработки внешним гидростатическим давлением при комнатной температуре.

3. Полученные спектры образца яичного белка под давлением при температуре 23°C, не совпадают со спектром белка после его тепловой денатурации при атмосферном давлении и 100°C. Из этого следует, что при температуре 23°C действие гидростатического давления в диапазоне от атмосферного до 1009,9 МПа не приводит к полной денатурации молекул яичного белка.
4. С повышением давления увеличиваются линейные размеры элементов пространственной структуры яичного белка. Это означает, что под действием внешнего гидростатического давления происходит денатурация (разворачивание) молекул яичного белка, степень которой тем больше, чем выше величина приложенного давления
5. Действие внешнего гидростатического давления на яичный белок приводит, как к увеличению площади наибольшего количества частиц в образце, так и к уменьшению их количества.
6. Результаты проведенного анализа дисперсного состава яичного белка после действия внешнего гидростатического давления и температуры 100°C качественно подобны, но не одинаковы количественно.
7. В яичном белке при давлениях от атмосферного до 400 МПа денатурация является основной причиной изменения площади частиц. С уменьшением объема образца при изотермическом сжатии увеличивается количество столкновений частиц и уменьшается величина энергетического барьера для их коагуляции. При давлениях больших 400 МПа коагуляция частиц проявляется более отчетливо и с давления около 750 МПа ее скорость начинает уже преобладать над скоростью денатурации.

Для более точного математического моделирования коагуляции и денатурации молекул яичного белка под действием внешнего гидростатического давления необходимо проводить более подробный анализ дисперсного состава, при котором на микрофотографиях измерять и другие геометрические параметры частиц, такие, как периметр, округлость и продолговатость. Это позволит получить новую важную информацию о преобразованиях структуры и конформационных перестройках, которые происходят в яичном белке при действии внешнего гидростатического давления.

Литература

Агафоновичев, В. П., Петрова, Т. И., & Кругалев, С. С. (2012). К вопросу оценки потребительских

- свойств куриных яиц разной категории. *Птица и птицепродукты*, 2, 12-17.
- Виндхорст, Г. В. (2006). Изменение тенденций на яичном рынке. *Яичный мир: приложение к журналу «Птица и птицепродукты»*, 2, 28-33.
- Восканян, О. С., Паронян, В. Х., Шленская, Т. В. (2004). Исследование структурно-реологических свойств эмульсионных продуктов нового поколения. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 10, 39-40
- Рудакова, Т. (1998). Консервирование продуктов высоким давлением. *Рыбное хозяйство*, 5-6, 59-60.
- Штеле, А. Л., & Филатов, А. И. (2012). Оценка качества пищевых яиц и моделирование их энергетической ценности. *Достижения науки и техники АПК*, 9, 64-66.
- Эйнштейн, А., & Смолуховский, М. (1936). Доступные наблюдению молекулярные явления, противоречащие обычной термодинамике. В *Броуновское движение* (с. 197). Ленинград: ОНТИ.
- Balny, C., Hayashi, R., Heremans, K., & Masson, P. (1992). From living systems to biomolecules. In *High Pressure and Biotechnology* (pp. 37-44). Montrouge: John Libbey Eurotext Ltd.
- Balny, C., Hayashi, R., Heremans, K., & Masson, P. (1992). Pressure denaturation of proteins. In *High Pressure and Biotechnology* (pp. 89-99). Montrouge: John Libbey Eurotext Ltd.
- Brandts, J. F., Oliveira, R. J., & Westort, C. (1970). Thermodynamics of protein denaturation effect of pressure on the denaturation of ribonuclease. *Biochemistry*, 9, 1038-1047. <https://doi.org/10.1021/bi00806a045>
- Bridgman, P. W. (1914). The coagulation of albumen by pressure. *The Journal of Biological Chemistry*, 19, 511-512.
- Buzrul, S. (2021). High hydrostatic pressure applications on liquid whole egg. *World's Poultry Science Journal*, 77(1), 71-90. <https://doi.org/10.1080/00439339.2020.1866963>
- Funtenberger, S., Dumay, E., & Cheftel, J. C. (1995). Pressure-induced aggregation of B-Lactoglobulin in pH 7.0 buffers. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 28, 410-418. [https://doi.org/10.1016/0023-6438\(95\)90025-X](https://doi.org/10.1016/0023-6438(95)90025-X)
- Gekko, K., & Hasegawa, Y. (1986). Compressibility-structure relationship of globular proteins. *Biochemistry*, 25, 6563-6571. <https://doi.org/10.1021/bi00369a034>
- Gekko, K., & Yamagami, K. (1991). Flexibility of food proteins as revealed by compressibility. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 39, 57-62. <https://doi.org/10.1021/jf00001a010>
- Gharbi, N., & Labbafi, M. (2018). Effect of processing on aggregation mechanism of egg white proteins. *Food Chemistry*, 252, 126-133. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.088>

- Hauben, K. J. A., Wuytack, E. Y., Soontjens, C. C. F., & Michiels, C. W. (1996). High pressure transient sensitization of *Escherichia coli* to lysozyme and nisin by disruption of outer-membrane permeability. *Journal of Food Protection*, 59(4), 350-355. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-59.4.350>
- Hawley, S. A. (1971). Reversible pressure-temperature denaturation of chymo-trypsinigen. *Biochemistry*, 10, 2436-2442. <https://doi.org/10.1021/bi00789a002>
- Hayashi, R., Kawamura, Y., Nakasa, T., & Okinaka, O. (1989). Application of high pressure to food processing. *Pressurization of Egg White and Yolk, and Properties of Gels Formed*, 53(11), 2935-2939. <https://doi.org/10.1271/bbb1961.53.2935>
- Holdsworth, D. & Simpson, R. (2016). *Thermal Processing of Packaged Foods*. Cham: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24904-9>
- Jähne, B. (2005). *Digital Image Processing*. Berlin: Springer. <https://doi.org/10.1007/3-540-27563-0>
- Knorr, D., & Heinz, V. (1999). Recent advances in high pressure processing of foods. *New Food*, 2, 15-19.
- Li-Chan, E. C. Y., Powrie, W. D., & Nakai, A. S. (1995). The chemistry of eggs and egg products. In *Egg Science and Technology* (pp. 105-114). New York: Food Products Press.
- Linton, M., McClements, J. M. J., & Patterson, M. F. (1999). Inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 in orange juice using a combination of high pressure and mild heat. *Journal of Food Protection*, 62(3), 277-279. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-62.3.277>
- Messens, W., van Camp J., & Huyghebaert, A. (1997). The use of high pressure to modify the functionality of food proteins. *Trends in Food Science and Technology*, 8, 107-112. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(97\)01015-7](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(97)01015-7)
- Mine, Y. (1995). Recent advances in the understanding of egg white protein functionality. *Trends in Food Science & Technology*, 6, 225-232. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(00\)89083-4](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(00)89083-4)
- Muzammil, S., Kumar, Y., & Tayyab, S. (1999). Molten globule-like state of human serum albumin at low pH. *European Journal of Biochemistry*, 266(1), 26-32. <https://doi.org/10.1046/j.1432-1327.1999.00810.x>
- Németh, C., Tóth, A., Hidas, K., Surányi, J., & Friedrich, L. (2020). High hydrostatic pressure treatment of liquid egg products. *Journal of Physics: Conference Series*, 1609, Article 012012. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1609/1/012012>
- Ohmiya, K., Kajino, T., Shimizu, S., & Gekko, K. (1989). Effect of pressure on the association states of enzyme-treated casein. *Agricultural Biological Chemistry*, 53(1), 1-7. <https://doi.org/10.1080/00021369.1989.10869259>
- Okamoto, M., Kawamura, Y., & Hayashi, R. (1990). Application of high pressure to food processing: Textural comparison of pressure- and heat-induced gels of food proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(1), 183-189. <https://doi.org/10.1271/bbb1961.54.183>
- Osuga, D. T., & Feeney, R. E. (1977). Egg proteins. In *Food Proteins* (pp.209-266). Westport: Avi Publishing Co.
- Oxen, P., & Knorr, D. (1993). Baroprotective effects of high solute concentrations against inactivation of *Rhodotorula rubra*. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 26(3), 220-223. <https://doi.org/10.1006/fstl.1993.1048>
- Palou, E., Lopez-Malo, A., Barbosa-Canovas, G. V., Welti-Chanes, J., & Swanson, B. G. (1997). Kinetic analysis of *Zygosaccharomyces bailii* inactivation by high hydrostatic pressure. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*, 30(7), 703-708. <https://doi.org/10.1006/fstl.1997.0261>
- Pico, G. A. (1997). Thermodynamic features of the thermal unfolding of human serum albumin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 20(1), 63-73. [https://doi.org/10.1016/s0141-8130\(96\)01153-1](https://doi.org/10.1016/s0141-8130(96)01153-1)
- Der Plancken, I. V., Loey, A. V., & Hendrickx, M. E. (2005). Combined effect of high pressure and temperature on selected properties of egg white proteins. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 6(1), 11-20. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2004.10.002>
- Singh, A., Sharma, M., & Ramaswamy, H. S. (2015). Effect of high pressure treatment on rheological characteristics of egg components. *International Journal of Food Properties*, 18(3), 558-571. <https://doi.org/10.1080/10942912.2013.837063>
- Sokolov, S., Sevatorov, N., & Selezneva, I. K. (2013). Development of the module for determining the temperature field in the high pressure chamber. *Journal of EcoAgriTourism*, 1(26), 51-54.
- Suzuki, K., Miyosawa, Y., & Suzuki, C. (1963). Protein denaturation by high pressure. Measurement of turbidity of isoelectric ovalbumin and horse serum albumin under high pressure. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 101, 225-228.
- Tang, T., Du, H., Tang, S., Jiang, Y., Tu, Y., Hu, M., & Xu, M. (2021). Effects of incorporating different kinds of peptides on the foaming properties of egg white powder. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 72, Article 102742. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102742>
- Van Camp, J., & Huyghebaert, A. (1995). High pressure-induced gel formation of a whey protein and haemoglobin protein concentrate. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 28(1), 111-117. [https://doi.org/10.1016/s0023-6438\(95\)80021-2](https://doi.org/10.1016/s0023-6438(95)80021-2)
- Wong, P. T. T., & Heremans, K. (1988). Pressure effects on protein secondary structure and hydrogen

- deuterium exchange in chymotrypsinogen: Fourier transform infrared spectroscopic study. *Biochimica et Biophysica Acta*, 956(1), 1-9. [https://doi.org/10.1016/0167-4838\(88\)90291-9](https://doi.org/10.1016/0167-4838(88)90291-9)
- Zhao, Y., Feng, F., Yang, Y., Xiong, C., Xu, M., & Tu, Y. (2021). Gelation behavior of egg yolk under physical and chemical induction: A review. *Food Chemistry*, 355, Article 129569. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129569>
- Zipp, A., & Kauzmann, W. (1973), Pressure denaturation of metmyoglobin. *Biochemistry*, 12(21), 4217-4228. <https://doi.org/10.1021/bi00745a028>

Analysis of the Dispersed Composition of Egg White by Microscopy

Sergey A. Sokolov

*Kerch State Maritime Technological University
82, Ordzhonikidze str., Kerch, 298309, Russian Federation
E-mail: sokoloff1906@mail.ru*

Aleksander A. Yashonkov

*Kerch State Maritime Technological University
82, Ordzhonikidze str., Kerch, 298309, Russian Federation
E-mail: jashonkov@rambler.ru*

The contents of a chicken egg contain in an optimal ratio all the nutrients necessary for the development and maintenance of the life of the human body. However, even with relatively short storage, the properties of eggs change noticeably for the worse. Currently used pasteurization, as well as the most common methods of preserving liquid egg products – drying and freezing do not provide microbiological sterility and stability of the properties of the product during its long-term storage. The aim of the work was to improve the process of high-pressure processing of the contents of chicken eggs on the basis of experimental studies allowing to establish reasonable values of process parameters to improve the technological and consumer properties of processed egg raw materials. As part of the research, it was found that high-pressure treatment not only inactivates microorganisms, but also gives new useful consumer characteristics to food products. The paper considers the issues of determining the dispersed composition of egg white samples by microscopy. The analysis of the dispersed composition of egg white after the action of various fixed pressure at room temperature was carried out. The dependences of the area and the average diameter of the particles in the protein on the pressure are determined. A mathematical model of the kinetics of denaturation and coagulation of egg white particles after its treatment with external hydrostatic pressure at room temperature is proposed. It was found that with increasing pressure, the average equivalent particle diameter in an egg white sample increases after pressure treatment. After the action of a pressure of 1009.9 MPa, the average equivalent diameter of the sample particles increases by 3.799 times, compared with the average equivalent diameter of the particles in egg white treated with a pressure of 220.4 MPa.

Keywords: chicken egg, protein denaturation, microscopy, high pressure.

References

- Agafonychev, V. P., Petrova, T. I., & Krugalev, S. S. (2012). K voprosu otsenki potrebitel'skikh svoystv kurinykh yait raznoi kategorii [On the issue of evaluating the consumer properties of chicken eggs of different categories]. *Ptitsa i ptitseprodukty* [Poultry and Poultry Products], 2, 12-17.
- Einshtein, A., & Smolukhovskii, M. (1936). Dostupnye nablyudeniya molekulyarnye yavleniya, protivorechashchie obychnoi termodinamike [Observable molecular phenomena that contradict conventional thermodynamics]. In *Brounovskoe dvizhenie* [Brownian motion] (p. 197). Leningrad: ONTI.
- Rudakova, T. (1998). Konservirovanie produktov vysokim davleniem [High pressure canning]. *Rybnoe khozyaistvo* [Fishery], 5-6, 59-60.
- Shtele, A. L., & Filatov, A. I. (2012). Otsenka kachestva pishchevykh yait i modelirovanie ikh energeticheskoi tsennosti [Evaluation of the quality of edible eggs and modeling of their energy value]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of Science and Technology of the Agro-Industrial Complex], 9, 64-66.
- Vindkhorst, G. V. (2006). Izmenenie tendentsii na yaichnom rynke [Changing trends in the egg market]. *Yaichnyi mir: prilozhenie k zhurnal "Ptitsa i ptitseprodukty"* [Egg World: Supplement to the journal "Poultry Products magazine"], 2, 28-33.
- Voskanyan, O. S., Paronyan, V. Kh., Shlenskaya, T. V. (2004). Issledovanie srukturno-reologicheskikh svoystv emul'sionnykh produktov novogo pokoleniya [Investigation of the structural and rheological properties of new generation emulsion products]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and processing of Farm Products], 10, 39-40.
- Balny, C., Hayashi, R., Heremans, K., & Masson, P. (1992). From living systems to biomolecules. In *High Pressure and Biotechnology* (pp. 37-44). Montrouge: John Libbey Eurotext Ltd.

- Balny, C., Hayashi, R., Heremans, K., & Masson, P. (1992). Pressure denaturation of proteins. In *High Pressure and Biotechnology* (pp. 89-99). Montrouge: John Libbey Eurotext Ltd.
- Brandts, J. F., Oliveira, R. J., & Westort, C. (1970). Thermodynamics of protein denaturation effect of pressure on the denaturation of ribonuclease. *Biochemistry*, 9, 1038-1047. <https://doi.org/10.1021/bi00806a045>
- Bridgman, P. W. (1914). The coagulation of albumen by pressure. *The Journal of Biological Chemistry*, 19, 511-512.
- Buzrul, S. (2021). High hydrostatic pressure applications on liquid whole egg. *World's Poultry Science Journal*, 77(1), 71-90. <https://doi.org/10.1080/00439339.2020.1866963>
- Funtenberger, S., Dumay, E., & Cheftel, J. C. (1995). Pressure-induced aggregation of B-Lactoglobulin in pH 7.0 buffers. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]*, 28, 410-418. [https://doi.org/10.1016/0023-6438\(95\)90025-X](https://doi.org/10.1016/0023-6438(95)90025-X)
- Gekko, K., & Hasegawa, Y. (1986). Compressibility-structure relationship of globular proteins. *Biochemistry*, 25, 6563-6571. <https://doi.org/10.1021/bi00369a034>
- Gekko, K., & Yamagami, K. (1991). Flexibility of food proteins as revealed by compressibility. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 39, 57-62. <https://doi.org/10.1021/jf00001a010>
- Gharbi, N., & Labbafi, M. (2018). Effect of processing on aggregation mechanism of egg white proteins. *Food Chemistry*, 252, 126-133. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.088>
- Hauben, K. J. A., Wuytack, E. Y., Soontjens, C. C. F., & Michiels, C. W. (1996). High pressure transient sensitization of Escherichia coli to lysozyme and nisin by disruption of outer-membrane permeability. *Journal of Food Protection*, 59(4), 350-355. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-59.4.350>
- Hawley, S. A. (1971). Reversible pressure-temperature denaturation of chymo-trypsinigen. *Biochemistry*, 10, 2436-2442. <https://doi.org/10.1021/bi00789a002>
- Hayashi, R., Kawamura, Y., Nakasa, T., & Okinaka, O. (1989). Application of high pressure to food processing. *Pressurization of Egg White and Yolk, and Properties of Gels Formed*, 53(11), 2935-2939. <https://doi.org/10.1271/bbb1961.53.2935>
- Holdsworth, D. & Simpson, R. (2016). *Thermal Processing of Packaged Foods*. Cham: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-24904-9>
- Jähne, B. (2005). *Digital Image Processing*. Berlin: Springer. <https://doi.org/10.1007/3-540-27563-0>
- Knorr, D., & Heinz, V. (1999). Recent advances in high pressure processing of foods. *New Food*, 2, 15-19.
- Li-Chan, E. C. Y., Powrie, W. D., & Nakai, A. S. (1995). The chemistry of eggs and egg products. In *Egg Science and Technology* (pp. 105-114). New York: Food Products Press.
- Linton, M., McClements, J. M. J., & Patterson, M. F. (1999). Inactivation of Escherichia coli O157:H7 in orange juice using a combination of high pressure and mild heat. *Journal of Food Protection*, 62(3), 277-279. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-62.3.277>
- Messens, W., van Camp J., & Huyghebaert, A. (1997). The use of high pressure to modify the functionality of food proteins. *Trends in Food Science and Technology*, 8, 107-112. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(97\)01015-7](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(97)01015-7)
- Mine, Y. (1995). Recent advances in the understanding of egg white protein functionality. *Trends in Food Science & Technology*, 6, 225-232. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(00\)89083-4](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(00)89083-4)
- Muzammil, S., Kumar, Y., & Tayyab, S. (1999). Molten globule-like state of human serum albumin at low pH. *European Journal of Biochemistry*, 266(1), 26-32. <https://doi.org/10.1046/j.1432-1327.1999.00810.x>
- Németh, C., Tóth, A., Hidas, K., Surányi, J., & Friedrich, L. (2020). High hydrostatic pressure treatment of liquid egg products. *Journal of Physics: Conference Series*, 1609, Article 012012. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1609/1/012012>
- Ohmiya, K., Kajino, T., Shimizu, S., & Gekko, K. (1989). Effect of pressure on the association states of enzyme-treated casein. *Agricultural Biological Chemistry*, 53(1), 1-7. <https://doi.org/10.1080/00021369.1989.10869259>
- Okamoto, M., Kawamura, Y., & Hayashi, R. (1990). Application of high pressure to food processing: Textural comparison of pressure- and heat-induced gels of food proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(1), 183-189. <https://doi.org/10.1271/bbb1961.54.183>
- Osuga, D. T., & Feeney, R. E. (1977). Egg proteins. In *Food Proteins* (pp.209-266). Westport: Avi Publishing Co.
- Oxen, P., & Knorr, D. (1993). Baroprotective effects of high solute concentrations against inactivation of Rhodotorula rubra. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]*, 26(3), 220-223. <https://doi.org/10.1006/fstl.1993.1048>
- Palou, E., Lopez-Malo, A., Barbosa-Canovas, G. V., Welti-Chanes, J., & Swanson, B. G. (1997). Kinetic analysis of Zygosaccharomyces baili inactivation by high hydrostatic pressure. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie [Food science and technology]*, 30(7), 703-708. <https://doi.org/10.1006/fstl.1997.0261>
- Pico, G. A. (1997). Thermodynamic features of the thermal unfolding of human serum albumin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 20(1), 63-73. [https://doi.org/10.1016/s0141-8130\(96\)01153-1](https://doi.org/10.1016/s0141-8130(96)01153-1)

- Der Plancken, I. V., Loey, A. V., & Hendrickx, M. E. (2005). Combined effect of high pressure and temperature on selected properties of egg white proteins. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 6(1), 11-20. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2004.10.002>
- Singh, A., Sharma, M., & Ramaswamy, H. S. (2015). Effect of high pressure treatment on rheological characteristics of egg components. *International Journal of Food Properties*, 18(3), 558-571. <https://doi.org/10.1080/10942912.2013.837063>
- Sokolov, S., Sevatorov, N., & Selezneva, I. K. (2013). Development of the module for determining the temperature field in the high pressure chamber. *Journal of EcoAgriTourism*, 1(26), 51-54.
- Suzuki, K., Miyosawa, Y., & Suzuki, C. (1963). Protein denaturation by high pressure. Measurement of turbidity of isoelectric ovalbumin and horse serum albumin under high pressure. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 101, 225-228.
- Tang, T., Du, H., Tang, S., Jiang, Y., Tu, Y., Hu, M., & Xu, M. (2021). Effects of incorporating different kinds of peptides on the foaming properties of egg white powder. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 72, Article 102742. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102742>
- Van Camp, J., & Huyghebaert, A. (1995). High pressure-induced gel formation of a whey protein and haemoglobin protein concentrate. *Lebensmittel Wissenschaft und Technologie*, 28(1), 111-117. [https://doi.org/10.1016/s0023-6438\(95\)80021-2](https://doi.org/10.1016/s0023-6438(95)80021-2)
- Wong, P. T. T., & Heremans, K. (1988). Pressure effects on protein secondary structure and hydrogen deuterium exchange in chymotrypsinogen: Fourier transform infrared spectroscopic study. *Biochimica et Biophysica Acta*, 956(1), 1-9. [https://doi.org/10.1016/0167-4838\(88\)90291-9](https://doi.org/10.1016/0167-4838(88)90291-9)
- Zhao, Y., Feng, F., Yang, Y., Xiong, C., Xu, M., & Tu, Y. (2021). Gelation behavior of egg yolk under physical and chemical induction: A review. *Food Chemistry*, 355, Article 129569. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129569>
- Zipp, A., & Kauzmann, W. (1973), Pressure denaturation of metmyoglobin. *Biochemistry*, 12(21), 4217-4228. <https://doi.org/10.1021/bi00745a028>

Биокатализ крахмала кукурузы термостабильной α -амилазой в двухшнековом экструдере

Шариков Антон Юрьевич

*ВНИИПБТ – филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»
Адрес: 111033, г. Москва, ул. Самокатная, д. 4Б
E-mail: anton.sharikov@gmail.com*

Иванов Виктор Витальевич

*ВНИИПБТ – филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»
Адрес: 111033, г. Москва, ул. Самокатная, д. 4Б
E-mail: ivanov.v.v@li.ru*

Амелякина Мария Валентиновна

*ВНИИПБТ – филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»
Адрес: 111033, г. Москва, ул. Самокатная, д. 4Б
E-mail: masha.am@mail.ru*

Середа Анна Сергеевна

*ВНИИПБТ – филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»
Адрес: 111033, г. Москва, ул. Самокатная, д. 4Б
E-mail: as.sereda@gmail.com*

Поливановская Дарья Викторовна

*ВНИИПБТ – филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»
Адрес: 111033, г. Москва, ул. Самокатная, д. 4Б
E-mail: dashpol@mail.ru*

Традиционные технические решения в области ферментативного гидролиза крахмала и крахмалсодержащего сырья предполагают многостадийную водно-ферментативную обработку субстрата, включая стадии разваривания, разжижения, декстринизации, упаривания и сушки, в случае производства готовой продукции в порошкообразном виде. В качестве альтернативы такого многоэтапного процесса предлагается использование экструзионной техники, которая помимо использования в производстве продуктов питания, ингредиентов и кормов находит применение в качестве химических реакторов, заменяя традиционные емкостные реакторы периодического действия. Проведено исследование влияния гидротермомеханических режимных параметров, влагосодержания и дозировки термостабильного амилолитического фермента на процесс экструзии крахмала и степень его гидролиза в камере двухшнекового экструдера. Установлено, что температурный диапазон 112–122 °С является оптимальным для осуществления процесса биокатализа. Максимальное значение декстрозного эквивалента 13,6 достигнуто при влагосодержании 36% и дозировке α -амилазы 6 ед.АС/ г крахмала. Показано, что декстрозный эквивалент при экструзии крахмала с данным количеством фермента даже при влажности 20% составляет 12,6. Остаточная амилолитическая активность экструдатов варьируется в диапазоне от 0,2 до 0,55 ед. АС в зависимости от начальной подачи фермента в камеру экструдера, что свидетельствует о неполной инактивации α -амилазы в процессе экструзии даже при температурных режимах, превышающих оптимум действия α -амилазы. Установлено, что в отличие от экструдирования крахмала без фермента увеличение влагосодержания при внесении α -амилазы способствует росту растворимости и снижению влагоудерживающей способности экструдатов. Результаты исследования показали возможность проведения непрерывной биокаталитической реакции гидролиза крахмала непосредственно в камере экструдера, что позволяет получать гидролизаты с низкой влажностью в одну стадию, исключая этапы водно-тепловой обработки низкоконцентрированных крахмальных сред, их упаривание и последующую распылительную сушку.

Ключевые слова: крахмал, экструзия, гидролиз, фермент, амилаза, высокие концентрации, декстрозный эквивалент

Введение

Гидролиз крахмала с использованием ферментных препаратов, кислот или их комбинации в сочетании с различными технологическими режимами водно-тепловой обработки или применением специальных процессов позволяет получать широкий ряд продуктов для пищевой, фармацевтической и других отраслей с различной степенью деполимеризации и функциональными свойствами (Папахин и др., 2020; Chronakis, 1998). Один из видов таких продуктов – мальтодекстрины имеют большое распределение молекулярной массы и состоят в основном из смеси D-глюкозы, мальтозы, олигосахаридов и полисахаридов. Технологические свойства, высокая растворимость, нейтральные органолептические характеристики определили высокую востребованность мальтодекстринов в производстве пищевой продукции и ингредиентов. Мальтодекстрины используются в качестве модификаторов и стабилизаторов текстуры, желеобразующих агентов, инертных наполнителей, регуляторов сладости, заменителей жира, носителей вкусоароматических веществ, в том числе в качестве матрицы для инкапсуляции (Takeiti et al., 2010). В соответствии с ГОСТ 34274-2017 «Мальтодекстрины. Технические условия»¹, разработанным ВНИИ крахмалопродуктов, массовая доля редуцирующих веществ в мальтодекстринах может достигать 25% сухих веществ. Общепринятой характеристикой степени гидролиза крахмала является декстрозный эквивалент, который является показателем общей восстанавливающей способности всех присутствующих сахаров по отношению к глюкозе, равной 100 и выраженной в пересчете на сухой вес.

Процесс водно-ферментативной обработки крахмала в технологии мальтодекстринов включает этапы клейстеризации, разжижения термостабильной α -амилазой, декстринизации, упаривания и распылительной сушки (Ананских & Шлеина, 2017; Ананских & Шлеина, 2018; Vaks et al., 2008), характеризующиеся длительностью и многоступенчатыми температурными режимами. Содержание сухих веществ в гидролизатах составляет 30-35%.

Консенсусной при рассмотрении вопросов оптимизации процессов ферментативной обработки субстратов растительного происхождения является позиция, что увеличение содержания сухих веществ в гидролизатах является эффективным техническим решением для снижения себе-

стоимости производства (Kristensen et al., 2009; Modenbach & Nokes, 2013), так как обеспечивает повышение производительности предприятия с одновременным сокращением энергозатрат для нагрева и охлаждения гидролизуемых сред, а также объемов сточных вод (Jørgensen et al., 2007).

Отмечается, что повышение концентрации субстрата при ферментализации растительных субстратов имеет ряд технологических недостатков. Увеличение концентрации продуктов гидролиза ингибирует скорость биокаталитических реакций, ухудшается реология жидких сред (Kristensen et al., 2009; Modenbach & Nokes, 2013). По мере увеличения содержания сухих веществ факторы, которыми можно было пренебречь в низкоконтрированных системах, приобретают большее значение. Проблемой становится недостаточное количество свободной воды, что сказывается на эффективности массопереноса ферментов, промежуточных и конечных продуктов гидролиза, а также резком росте вязкости, увеличивающей напряжение сдвига и, соответственно, потребляемую мощность для перемешивания (Felby et al., 2008; Hodge et al., 2009). При производстве готовой продукции с низким содержанием влаги, такие затраты могут быть оправданы за счет экономии на стадии сушки, так как из гидролизата требуется удалить меньшее количество воды. В качестве альтернативы типовым схемам разваривания возможно использование экструзии как стадии предподготовки крахмала к дальнейшей биоконверсии (Vaks et al., 2008; Степанов и др., 2002; Шариков и др., 2020). Такой способ на первой стадии предполагает желатинизацию крахмала гидротермомеханическим экструзионным способом, а затем его водно-ферментативную обработку, которую можно осуществлять уже при более высоком содержании сухих веществ (до 60%) за счет того, что пик вязкости процесса клейстеризации уже пройден. Для технологии производства низковлажных или сухих гидролизатов более прогрессивным техническим решением является использование экструдеров или шнековых реакторов, предназначенных для работы с сухими компонентами. Осуществление биокаталитических реакций с низким уровнем добавления воды обеспечивает исключение из технологии стадии нагрева больших объемов воды при разваривании сырья, охлаждения сред до температуры осахаривания, упаривания гидролизатов и их сушки. Естественным лимитирующим фактором может выступать несовпадение температурного диапазона экструзии крахмала, составляющего 140-180 °C (Butrim et al., 2009; Moscicki, 2011), и температурного оптимума действия большинства тер-

¹ ГОСТ 34274-2017. (2017). *Мальтодекстрины. Технические условия*. М.: Стандартинформ.

мостабильных амилаз, находящегося в диапазоне 90–95 °С. Тем не менее, ряд исследований показали возможность успешного использования двухшнекового экструдера для гидролиза крахмалосодержащих и некрахмалистых полисахаридов в условиях низкого содержания воды в реакционной среде (Шариков и др., 2019). Учитывая перспективы реализации процессов ферментативного гидролиза крахмала, исключая стадии стандартной водно-тепловой обработки, представляет интерес развитие исследований совмещенных экструзионных и биокаталитических процессов.

Целью данного исследования стало изучение влияния режимных параметров экструдирования, влагосодержания и дозировки термостабильного амилотического фермента на процесс экструзии крахмала и осуществление его гидролиза непосредственного в камере двухшнекового экструдера.

Материалы и методы исследования

Материалы

Объектом исследования являлся кукурузный крахмал, проэкструдированный с внесением в камеру экструдера термостабильной альфа-амилазы. В работе использовали крахмал кукурузный по ГОСТ 32159-2013².

В качестве биокатализатора использовали препарат термостабильной бактериальной α -амилазы Неозим АА 180 активностью 1900 ед. АС/см³, полученной глубинным культивированием *Bacillus licheniformis*.

Оборудование

Экструзионную обработку крахмала проводили с использованием двухшнекового экструдера Werner&Pleiderer Continua-37 с диаметром шнеков 37 мм и соотношением длины к диаметру 27:1, представленного на Рисунке 1.

Для конвективной сушки образцов использовали сушильный шкаф LOIP LF-240/300, для сублимационной - лиофильную сушилку Lyolab 3000.

Процедура исследования

Скорость вращения шнеков в первой серии опытов составляла 200 об/мин, затем была снижена до 150 об/мин. Термические режимы экструдиро-

вания в данной модели экструдера являются политропными, то есть формируются за счет работы теплообменного контура нагревательных масляных станций и тепловой энергии, образованной в результате диссипации механической энергии сил трения в процессе экструдирования. Поэтому в эксперименте базовая температура экструзии соответствовала заданию нагревательной станции, но в процессе изменялась под воздействием режимных параметров гидротермомеханической обработки.

Влагосодержание крахмала при экструдировании поддерживалось в диапазоне 20–36%. В работе использовали две формирующие фильеры с двумя отверстиями круглого профиля каждая. В первой серии опытов использовались фильеры с двумя отверстиями $\varnothing 3$ мм при температуре экструзии 167–168 °С. Во второй серии для перевода работы экструдера в режим температур ближе к 110–120 °С было изменено задание для нагревающих станций, установлена новая фильера с двумя отверстиями $\varnothing 8$ мм, снижена скорость вращения шнеков до 150 об/мин для соответствующего снижения сил трения в камере установки. Это позволило в эксперименте обеспечить температуру экструзии в диапазоне 112–130 °С. Ферментный препарат (ФП) в камеру экструдера подавали перистальтическим насосом LOIP LS-301 в дозировках 2, 4 и 6 ед. АС/г крахмала.



Рисунок 1. Экспериментальная установка на основе экструдера Werner&Pleiderer Continua 37

При отборе проэкструдированных образцов, соответствующих каждой комбинации управляющих факторов – дозировки ферментного препарата и влагосодержания, часть пробы высушивалась при температуре 150 °С для инактивации фермента и последующего определения технологических

² ГОСТ 32159-2013. (2019). *Крахмал кукурузный. Общие технические условия*. М.: Стандартинформ.

свойств, другая часть замораживалась при температуре – 55 °С, и далее высушивалась на лиофильной сушилке для определения остаточной ферментативной активности в образцах.

Методы и инструменты

Каталитическую активность ферментного препарата α -амилазы и ее остаточную активность в экстрактах оценивали по определению количества прогидролизованного крахмала до декстринов различной молекулярной массы при температуре 30 °С, pH 6,0 в течение 10 минут в соответствии с ГОСТ Р 54330-2011 «Ферментные препараты для пищевой промышленности. Методы определения амилолитической активности»³.

Определение влажности в крахмале и экстрактах проводили термографическим методом с использованием анализатора влажности ML-50 (A&D, Япония).

Степень гидролиза крахмала оценивали по декстрозному эквиваленту (ДЭ), значение которого определяли в соответствии с ГОСТ Р 50549-93 «Продукты гидролиза крахмала. Определение восстанавливающей способности и эквивалента глюкозы. Метод постоянного титра Лейна и Эйнона»⁴.

Растворимость и влагоудерживающую способность (ВУС) экстрактов определяли методом растворения экстракта в избыточном количестве воды с последующим центрифугированием при 3000×g, определением массы осадка и содержания растворимых сухих веществ в фугате (Stojceska et al., 2010).

Анализ данных

Удельный расход электроэнергии рассчитывали по формуле (Ainsworth et al., 2007):

$$SME = n / (n_{\max} \times Kg) \times N \times M, \quad (1)$$

где: SME – удельный расход энергии на экструдирование, кВт*час/кг сырья; N – мощность двигателя экструдера, кВт; M – момент на валу редуктора; n и n_{\max} – скорость вращения шнеков установленная и максимальная, соответственно, об/мин; Kg – производительность по сырью, кг/ час.

Исследования проводились в трех повторностях. Достоверность различий средних проводили методами факторного дисперсионного анализа и апостериорного анализа по критерию Тьюки при $p < 0,05$ с использованием пакета программ Statistica 6.0.

Результаты исследования

На первом этапе проведения экспериментальных работ экструдирование проводилось через фильеру с двумя отверстиями $\varnothing 3$ мм и скоростью вращения шнеков 200 об/мин. Режимные показатели процесса экструзии представлены в Таблице 1. Поскольку система нагрева камеры экструдера предполагает работу в политропном режиме, т.е. без возможности интенсивного охлаждения камеры, то относительно низкое суммарное выходное сечение отверстий фильеры обеспечивало высокое сопротивление материала, его трение, что влияло на повышение температуры процесса, которая колебалась в интервале 167-168 °С вне зависимости от влагосодержания и подачи фермента.

Анализ ДЭ показал отсутствие прироста редуцирующих сахаров в образцах, что стало, видимо, результатом инактивации α -амилазы при такой высокой температуре.

Замена формирующей матрицы и снижение скорости вращения шнеков позволили снизить

Таблица 1

Режимные параметры экструдирования через матрицу с отверстиями $2 \times \varnothing 3$ мм

Влагосодержание	Дозировка α -амилазы	Скорость вращения шнеков	Температура	Крутящий момент	Удельный расход электроэнергии
%	ед. АС/ г крахмала	об/мин	°С	%	кВт*час/кг
20	0	200	167	40	0,126
20	4	200	168	38	0,120
30	4	200	168	29	0,092

³ ГОСТ Р 54330-2011. (2018). Ферментные препараты для пищевой промышленности. Методы определения амилолитической активности. М.: Стандартинформ.

⁴ ГОСТ Р 50549-93. (1993). Продукты гидролиза крахмала. Определение восстанавливающей способности и эквивалента глюкозы. Метод постоянного титра Лейна и Эйнона. М.: Госстандарт России.

Таблица 2

Режимные параметры экструдирования через матрицу с отверстиями 2 × ø8 мм

Влагосодержание	Дозировка α-амилазы	Скорость вращения шнеков	Температура	Момент	Удельный расход электроэнергии
%	ед. АС/ г СВ	об/мин	°С	%	кВт*час/кг
20	0	150	120	63	0,149
20	2	150	130	62	0,147
28	2	150	126	45	0,107
36	2	150	120	22	0,052
20	4	150	118	64	0,152
28	4	150	118	42	0,100
36	4	150	112	22	0,052
20	6	150	122	62	0,147
28	6	150	118	38	0,090
36	6	150	116	16	0,038

температуру экструзии до диапазона 112-130 °С. Режимные параметры данной экспериментальной сессии представлены в Таблице 2. Тенденции изменения режимных параметров при подаче в камеру установки термостабильной α-амилазы соответствовали описываемым в научной литературе данным. На всех уровнях дозировки ФП увеличение влагосодержания вызывало снижение температуры экструдирования, также значимо снижалось значение момента сдвига, определяющего энергетические затраты на процесс. Поэтому если при влажности 20% удельный расход электроэнергии находился в диапазоне 0,147-0,152 кВт*час/кг, при 28% наблюдалось снижение до 0,90-0,107 кВт*час/кг. При этом увеличение дозировки ФП обеспечивало дополнительное уменьшение энергозатрат. Экструзия крахмала при влажно-

держании 36% показала удельные энергозатраты 0,38-0,52 кВт*час/кг.

Минимальное значение энергозатрат соответствовало дозировке α-амилазы 6 ед. АС/ г крахмала. Проведенный двухфакторный дисперсионный анализ показал, что изменение обоих факторов значимо влияет на удельный расход электроэнергии, но в заданном факторном пространстве варьирования влагосодержанием 20-36% и дозировкой ФП 2-6 ед.АС / г, большее влияние оказывает изменение подачи воды, т.е. увеличение ее количества в реакторной системе.

На Рисунке 2 представлены зависимости влагоудерживающей способности и растворимости образцов модифицированного крахмала при варьировании управляющими факторами. Анализ

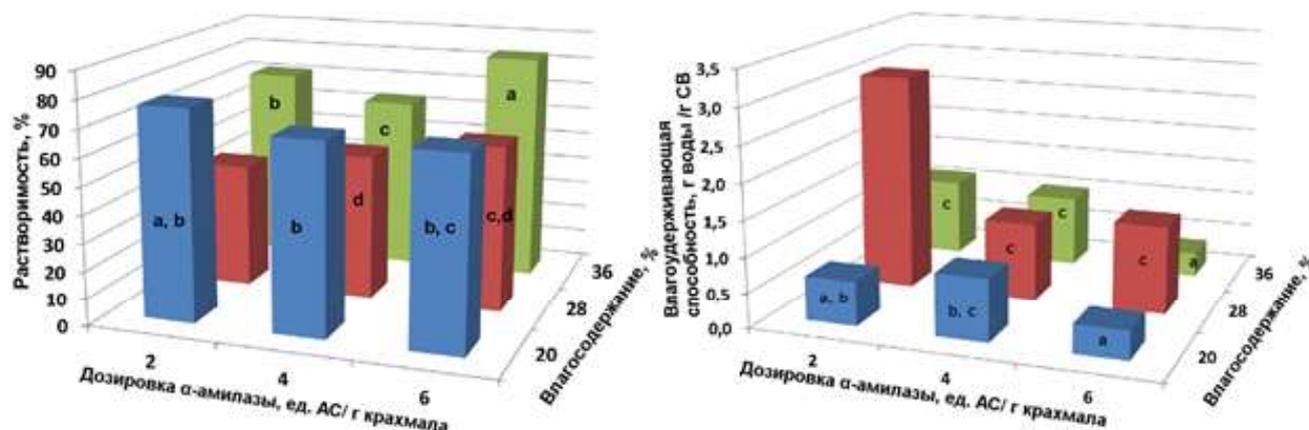


Рисунок 2. Влияние дозировки α-амилазы и влагосодержания в камере экструдера на ВУС (а) и растворимость (б)*

*различие значений, отмеченных одинаковыми буквенными символами для каждой диаграммы, статистически незначимо при p<0,05

данных показывает наличие тесной корреляционной связи (-0,75) между обоими показателями. При этом среднему уровню влагосодержания соответствует самые низкие показатели растворимости и высокие ВУС. Это можно объяснить тем, что при низком влагосодержании 20% экструзия обеспечивает высокую степень клейстеризации крахмала, косвенным показателем которой в отношении экструдированного крахмала является высокая растворимость, значение различных образцов которой для этого уровня фактора вне зависимости от дозировки ФП принадлежало к одной генеральной совокупности.

С увеличением подачи воды воздействие сил трения на сырье снижается, ухудшается клейстеризация крахмала с соответствующим снижением растворимости и повышением ВУС. При этом повышение дозировки ФП увеличивает растворимость и уменьшает ВУС. Самые высокие значения растворимости отмечены для минимального 20% влагосодержания в диапазоне 75-83%, а максимальное значение ВУС 3,2 г воды/ г СВ соответствует 28% влажности и 2 ед. АС.

На Рисунке 3 представлены данные по значениям ДЭ, соответствующие различным комбинациям управляющих факторов процесса. Результаты показали, что снижение температуры экструзии и скорости вращения шнеков обеспечили условия для ферментативного гидролиза крахмала в камере экструдера в условиях низкого влагосодержания.

Установлено, что значимыми являются оба фактора, но влияние изменения дозировки ФП оказывает большее влияние на образование редуцирующих сахаров. При дозировке 6 ед. АС/ г крахмала различие значений ДЭ образцов, проэкструдированных при разном влагосодержании, статистически не достоверно. При данной дозировке уровень ДЭ находится в диапазоне 12,6 – 13,6. При дозировке α -амилазы 2 и 4 ед. АС/ г крахмала фактор влагосодержания также становится значимым, его увеличение значительно повышает ДЭ экструдатов. Увеличение влажности с 20 до 36% увеличило ДЭ с 2,6 до 7,8 для дозировки 2 ед. АС, и с 10 до 13,5 для дозировки 4 ед. АС, соответственно. Т.е. при более высоком влагосодержании нет необходимости увеличивать дозировку ФП для достижения аналогичной степени гидролиза крахмала.

Анализ остаточной ферментативной активности термостабильной α -амилазы в экструдатах с целью определения возможности дальнейшей постэкструзионной выдержки в оптимальных для действия ФП условиях определяли в образцах с влажностью 28 и 36%. Установлено, что активность амилазы в образцах, проэкструдированных с дозировкой 2 ед. АС/г крахмала находилась в диапазоне 0,2-0,3 ед. АС, для 4 ед. – 0,33-0,44; для 6 ед. – 0,5-0,55, соответственно. Таким образом, установлено, что экструдирование при температуре 112-126 °С не вызывает полной инактивации ФП и возможна дальнейшая выдержка экструдатов для более глубокого гидролиза крахмала.

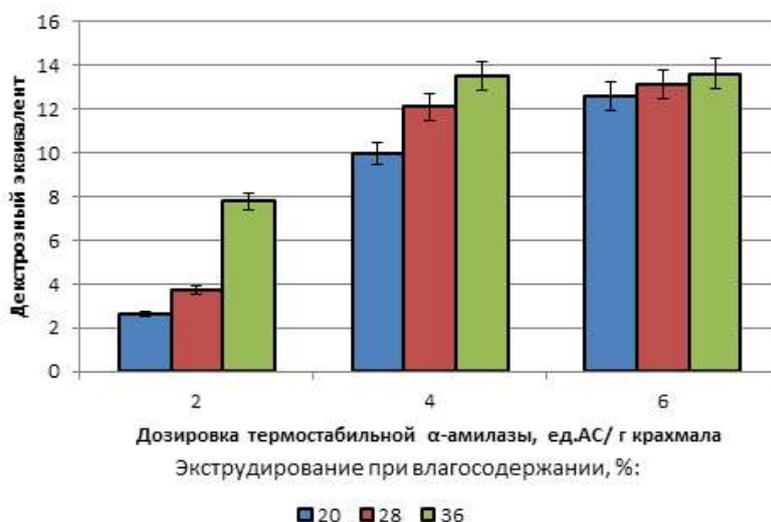


Рисунок 3. Влияние дозировки α -амилазы и влагосодержания в камере экструдера на значение декстрозного эквивалента*

*различие значений, отмеченных одинаковыми буквенными символами для каждой диаграммы, статистически незначимо при $p < 0,05$

Обсуждение

Ранее проведенные исследования по использованию экструдеров в качестве биокаталитических реакторов для гидролиза различных видов растительного сырья (Myat & Ryu, 2013; Govindasamy et al., 1997a; Govindasamy et al., 1997b; Santala et al., 2013; Solihin et al., 2007) показали высокий потенциал такого технического решения.

Результаты экспериментальной работы в общих тенденциях коррелируют с данными, полученными другими исследователями: увеличение влагосодержания в камере экструдера и дозировки ФП обеспечивает повышение ДЭ, растворимости, остаточной α -амилазной активности и снижает влагоудерживающую способность (Govindasamy et al., 1997a; Govindasamy et al., 1997b; Solihin et al., 2007). При экструдировании крахмала саго (Govindasamy et al., 1997a) в диапазоне температур 70-130 °С; влагосодержании 28,5-50,5% и скорости вращения шнеков 70-190 об/мин были достигнуты значения ДЭ 0,3-10,4, что несколько ниже результатов настоящего исследования. Авторы отмечают роль ферментативного гидролиза в оценке общепринятых тенденций изменения технологических свойств экструдатов, в отличие от стандартного процесса экструдирования крахмала без фермента при добавлении ФП с ростом влагосодержания значение растворимости также повышается, что связано с более глубокой степенью гидролиза крахмала. В нашем случае, максимальная растворимость также отмечена для максимальных значений дозировки ФП и влагосодержания и составляет 83%. Максимальная растворимость прогидролизированных экструдатов саго составила 60% при влагосодержании в процессе экструзии 50,5%, а влагоудерживающая способность варьировалась в более широком диапазоне 1,9 – 7,4 г воды /г экструдата. В отличие от экструзии крахмала саго, где максимальный ДЭ был получен при 90 °С, в нашем исследовании рабочий диапазон температур, в котором были получены высокие значения ДЭ, составил 112-122 °С. Необходимо отметить, что в большинстве исследований по проблеме экструдирования крахмалсодержащего сырья совместно с биокатализатором используется термостабильная α -амилаза Termamyl 120L. В данном исследовании использовалась термостабильная α -амилаза Неозим АА 180, которая также обеспечила высокую степень гидролиза в достаточно жестких условиях термопластической экструзии.

Вопрос количества воды при ферментативном гидролизе сельскохозяйственного сырья определяет энергоемкость и экономику производства.

Повышение концентрации сухих веществ в гидролизатах лимитируются либо реологией среды, либо низкой степенью конверсии биополимеров в продукты гидролиза, вследствие слабого массопереноса. При экструзии крахмала с α -амилазой проблема реологии заключается не в высокой вязкости среды, затрудняющей перемешивание, как в случае принятых промышленностью технологий с использованием верхнеприводных мешалок стандартных реакторов или выдерживателей на первых стадиях обработки, а скорее наоборот – резкое снижение вязкости расплава крахмала в экструдере вследствие действия ФП при наличии в сборке шнековых органов элементов, затрудняющих продвижение материала, например серия реверсивных и месильных элементов, что может привести к разрыву сплошной среды в камере, образованию пробки и аварийному останову оборудования. Поэтому важно отсутствие большого количества таких элементов в конструктивной сборке шнековых органов экструдера. Наличием сплошной среды при экструдировании, воздействием давления и сдвиговых деформаций при продавливании материала через отверстия фильеры авторы исследования процесса гидролиза ксиланазой пшеничных отрубей (Santala et al., 2013) объясняют усиленную диффузию ферментного препарата в субстрат и, как следствие более эффективный гидролиз, при экструдировании даже при низких температурах, соответствующих оптимуму действия термолабильных ФП.

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что при экструдировании кукурузного крахмала совместно с термостабильной α -амилазой возможно получение экструдатов с декстрозным эквивалентом до 13,6. В исследованном факторном пространстве максимальным значениям ДЭ соответствовали высокие дозировки ФП 4-6 ед. АС/ г крахмала и влагосодержание в камере экструдера 28 и 36%. Установлено, что даже после максимально жесткого для ферментативной обработки режима экструзии при влажности 20% в экструдатах сохраняется остаточная ферментативная активность, что оставляет перспективы для дальнейшей инкубации экструдатов в температурном оптимуме действия амилазы для увеличения степени гидролиза крахмала. Показана инверсия тенденции снижения растворимости экструдатов с ростом влагосодержания в камере экструдера за счет усиления гидролитического действия ФП при увеличении количества воды в реакционной системе. Полученные результа-

ты показывают перспективность разработки одностадийных технологий гидролиза крахмала на основе совмещения процесса экструзии и биокализа, исключающих принятые стадии разваривания крахмала, разжижения амилолитическими ферментами, охлаждения, выпаривания и сушки.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи» (тема № 0529-2019-0066).

Литература

- Ананских, В. В., & Шлеина, Л. Д. (2017). О возможности получения мальтодекстринов из кукурузной муки. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 11, 9-13.
- Ананских, В. В., & Шлеина, Л. Д. (2018). Мальтодекстрины из крахмалосодержащего сырья, их качество и использование в отраслях пищевой промышленности. *Кондитерское и хлебопекарное производство*, 7-8, 50-52.
- Папахин, А. А., Лукин, Н. Д., Ананских, В. В., & Бородина, З. М. (2020). О современных направлениях технологии гидролиза крахмала. *Достижения науки и техники АПК*, 34(12), 84-89. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-11214>
- Степанов, В. И., Римарева, Л. В., & Иванов, В. В. (2002). Экструзионный метод переработки крахмалосодержащего сырья в биотехнологическом производстве. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 8, 48-49.
- Шариков, А. Ю., Иванов, В. В., & Амелякина, М. В. (2020). Влияние перемешивания на эффективность ферментативного гидролиза высококонцентрированных сред экструдированного крахмала кукурузы. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 82(3), 96-103.
- Шариков, А. Ю., Степанов, В. И., & Иванов, В. В. (2019). Термопластическая экструзия в процессах пищевой биотехнологии. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*, 9(3), 447-460. <http://dx.doi.org/10.21285/2227-2925-2019-9-3-447-460>
- Ainsworth, P., Ibanoglu, S., Plunkett, A., Ibanoglu, E., & Stojceska V. (2007). Effect of brewers spent grain addition and screw speed on the selected physical and nutritional properties of an extruded snack. *Journal of Food Engineering*, 81(4), 702-709. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.01.004>
- Baks, T., Kappen, F. H. J., Janssen, A. E. M., & Boom, R. M. (2008). Towards an optimal process for gelatinisation and hydrolysis of highly concentrated starch-water mixtures with alpha-amylase from *Licheniformis* B. *Journal of Cereal Science*, 47(2), 214-225. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.03.011>
- Butrim, S. M., Litvyak, V. V., & Moskva, V. V. (2009). A study of physicochemical properties of extruded starches of varied biological origin. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 82, 1195-1199. <https://doi.org/10.1134/S1070427209070076>
- Chronakis, I. S. (1998). On the molecular characteristics, compositional properties, and structural-functional mechanisms of maltodextrins: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 38(7), 599-637. <https://doi.org/10.1080/10408699891274327>
- Felby, C., Thygesen, L. G., Kristensen, J. B., Jørgensen, H., & Elder, T. (2008). Cellulose-water interactions during enzymatic hydrolysis as studied by time domain NMR. *Cellulose*, 15(5), 703-710. <https://doi.org/10.1007/s10570-008-9222-8>
- Govindasamy, S., Campanella, O. H., & Oates, C. G. (1997a). Enzymatic hydrolysis of sago starch in a twin-screw extruder. *Journal of Food Engineering*, 32(4), 403-426. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(97\)00017-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(97)00017-4)
- Govindasamy, S., Campanella, O. H., & Oates, C. G. (1997b). The single screw extruder as a bioreactor for sago starch hydrolysis. *Food Chemistry*, 60(1), 1-11. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(96\)00100-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(96)00100-8)
- Hodge, D. B., Karim, M. N., Schell, D. J., & McMillan, J. D. (2009). Model-based fed-batch for high-solids enzymatic cellulose hydrolysis. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 152, Article 88. <https://doi.org/10.1007/s12010-008-8217-0>
- Jørgensen, H., Vibe-Pedersen, J., Larsen, J., & Felby, C. (2007). Liquefaction of lignocellulose at high-solids concentrations. *Biotechnology and Applied Microbiology*, 96(5), 862-870. <https://doi.org/10.1002/bit.21115>
- Kristensen, J. B., Felby, C., & Jørgensen, H. (2009). Yield-determining factors in high-solids enzymatic hydrolysis of lignocellulose. *Biotechnology for Biofuels*, 2, Article 11. <https://doi.org/10.1186/1754-6834-2-11>
- Modenbach, A. A., & Nokes, S. E. (2013). Enzymatic hydrolysis of biomass at high-solids loadings – A review. *Biomass and Bioenergy*, 56, 526-544. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.05.031>
- Mohagheghi, A., Tucker, M., Grohmann, K., & Wyman, C. (1992). High solids simultaneous saccharification and fermentation of pretreated wheat straw to ethanol. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 33(2), 67-81. <https://doi.org/10.1007/BF02950778>

- Moscicki, L. (2011). *Extrusion-cooking techniques : applications, theory and sustainability*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH.
- Myat, L., & Ryu, G.-H. (2013). Extrusion with thermostable α -amylase injection as pretreatment method for ethanol production from corn starch. *Journal of Microbial and Biochemical Technology*, 5(2), 47-53. <https://doi.org/10.4172/1948-5948.1000099>
- Santala, O., Nordlund, E., & Poutanen, K.(2013). Use of an extruder for pre-mixing enhances xylanase action on wheat bran at low water content. *Bioresource Technology*, 149, 191-199. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.09.029>
- Solihin, B. W., Kim, M. H., Im, B. S., Cha, J. Y., & Ryu, G. H. (2007). Effects of feed moisture content on enzymatic hydrolysis of corn starch in twin-screw extruder and saccharification of the dried extrudates. *Food Science and Biotechnology*, 16(3), 381-385.
- Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., & İbanoğlu, Ş. (2010) The advantage of using extrusion processing for increasing dietary fibre level in gluten-free products. *Food Chemistry*, 121(1), 156-164. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.12.024>
- Takeiti, C. Y., Kieckbusch, T. G., & Collares-Queiroz, F. P. (2010). Morphological and physicochemical characterization of commercial maltodextrins with different degrees of dextrose-equivalent. *International Journal of Food Properties*, 13(2), 411-425, <https://doi.org/10.1080/10942910802181024>

Biocatalysis of Corn Starch with Thermostable α -amylase in Twin-screw Extruder

Anton Yu. Sharikov

*VNIIPBT - branch of Federal State Budgetary Scientific Institution
«Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety,
4B, Samokatnaya Str., Moscow, 111033, Russian Federation
E-mail: anton.sharikov@gmail.com*

Viktor V. Ivanov

*VNIIPBT - branch of Federal State Budgetary Scientific Institution
«Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety,
4B, Samokatnaya Str., Moscow, 111033, Russian Federation
E-mail: ivanov.v.v@li.ru*

Maria V. Amelyakina

*VNIIPBT - branch of Federal State Budgetary Scientific Institution
«Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety,
4B, Samokatnaya Str., Moscow, 111033, Russian Federation
E-mail: masha.am@mail.ru*

Anna S. Sereda

*VNIIPBT - branch of Federal State Budgetary Scientific Institution
«Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety,
4B, Samokatnaya Str., Moscow, 111033, Russian Federation
E-mail: as.sereda@gmail.com*

Daria V. Polivanovskaya

*VNIIPBT - branch of Federal State Budgetary Scientific Institution
«Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety,
4B, Samokatnaya Str., Moscow, 111033, Russian Federation
E-mail: dashpol@mail.ru*

Traditional technical solutions in the field of enzymatic hydrolysis of starch and starch-containing raw materials involve multi-stage water-enzymatic treatment of the substrate including the stages of cooking, liquefaction, dextrinization, evaporation and drying. As an alternative to this multistage technology, the use of extruders is proposed, which, in addition to the production of food, ingredients and feed, can be used as chemical reactors, replacing traditional batch reactors. The study of the influence of operating extrusion parameters, moisture content and dosage of a thermostable amylolytic enzyme on the process of starch extrusion and the degree of its hydrolysis in the chamber of a twin-screw extruder was carried out. It was found that the temperature range 112-122 °C is optimal for the biocatalysis process. The maximum dextrose equivalent of 13.6 was achieved with a moisture content of 36% and a dosage of α -amylase of 6 amylolytic units per 1 g of starch. It has been shown that the dextrose equivalent during the extrusion of starch with a given amount of enzyme at a moisture content of 20% was 12.6. The residual amylolytic activity of the extrudates varied in the range from 0.2 to 0.55 units and depended on the initial enzyme dosage. It indicates incomplete inactivation of α -amylase during extrusion even at temperature conditions exceeding the α -amylase temperature optimum. It was found that, in contrast to the extrusion of starch without an enzyme, an increase in the moisture content upon the addition of α -amylase promotes an increase in solubility and a decrease in the water-holding capacity of extrudates. The results of the study showed the possibility of carrying out a continuous biocatalytic reaction of starch hydrolysis directly in the extruder chamber. It makes it possible to obtain hydrolysates with low moisture content in one stage, excluding the stages of water-heat treatment of low-concentrated starch media, their evaporation and subsequent spray drying.

Keywords: starch, extrusion, hydrolysis, enzyme, amylase, high concentrations, dextrose equivalent

References

- Ananskikh, V. V., & Shleina, L. D. (2017). O vozmozhnosti polucheniya mal'todekstrinov iz kukuruznoi muki [On the possibility of obtaining maltodextrins from cornmeal]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and processing of Farm Products], 11, 9-13.
- Ananskikh, V. V., & Shleina, L. D. (2018). Mal'todekstriny iz krakhmalosoderzhashchego syr'ya, ikh kachestvo i ispol'zovanie v otraslyakh pishchevoi promyshlennosti [Maltodextrins from starch-containing raw materials, their quality and use in the food industry]. *Konditerskoe i khlebopekarnoe proizvodstvo* [Confectionery and bakery production], 7-8, 50-52.
- Papakhin, A. A., Lukin, N. D., Ananskikh, V. V., & Borodina, Z. M. (2020). O sovremennykh napravleniyakh tekhnologii gidroliza krakhmala [About modern directions of starch hydrolysis technology]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of the agro-industrial complex], 34(12), 84-89. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-11214>
- Sharikov, A. Yu., Ivanov, V. V., & Amelyakina, M. V. (2020). Vliyanie peremeshivaniya na effektivnost' fermentativnogo gidroliza vysokokontsentrirrovannykh sred ekstrudirovannogo krakhmala kukuruzy [Influence of mixing on the efficiency of enzymatic hydrolysis of highly concentrated media of extruded corn starch]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii* [Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies], 82(3), 96-103.
- Sharikov, A. Yu., Stepanov, V. I., & Ivanov, V. V. (2019). Termoplasticheskaya ekstruziya v protsessakh pishchevoi biotekhnologii [Thermoplastic extrusion in food biotechnology processes]. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya* [Izvestiya vuzov. Applied Chemistry and Biotechnology], 9(3), 447-460. <http://dx.doi.org/10.21285/2227-2925-2019-9-3-447-460>
- Stepanov, V. I., Rimareva, L. V., & Ivanov, V. V. (2002). Ekstruzionnyi metod pererabotki krakhmalosoderzhashchego syr'ya v biotekhnologicheskom proizvodstve [Extrusion method for processing starch-containing raw materials in biotechnological production]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and processing of Farm Products], 8, 48-49.
- Ainsworth, P., Ibanoglu, S., Plunkett, A., Ibanoglu, E., & Stojceska V. (2007). Effect of brewers spent grain addition and screw speed on the selected physical and nutritional properties of an extruded snack. *Journal of Food Engineering*, 81(4), 702-709. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.01.004>
- Baks, T., Kappen, F. H. J., Janssen, A. E. M., & Boom, R. M. (2008). Towards an optimal process for gelatinisation and hydrolysis of highly concentrated starch-water mixtures with alpha-amylase from *Licheniformis* B. *Journal of Cereal Science*, 47(2), 214-225. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.03.011>
- Butrim, S. M., Litvyak, V. V., & Moskva, V. V. (2009). A study of physicochemical properties of extruded starches of varied biological origin. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 82, 1195-1199. <https://doi.org/10.1134/S1070427209070076>
- Chronakis, I. S. (1998). On the molecular characteristics, compositional properties, and structural-functional mechanisms of maltodextrins: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 38(7), 599-637. <https://doi.org/10.1080/10408699891274327>
- Felby, C., Thygesen, L. G., Kristensen, J. B., Jørgensen, H., & Elder, T. (2008). Cellulose-water interactions during enzymatic hydrolysis as studied by time domain NMR. *Cellulose*, 15(5), 703-710. <https://doi.org/10.1007/s10570-008-9222-8>
- Govindasamy, S., Campanella, O. H., & Oates, C. G. (1997a). Enzymatic hydrolysis of sago starch in a twin-screw extruder. *Journal of Food Engineering*, 32(4), 403-426. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(97\)00017-4](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(97)00017-4)
- Govindasamy, S., Campanella, O. H., & Oates, C. G. (1997b). The single screw extruder as a bioreactor for sago starch hydrolysis. *Food Chemistry*, 60(1), 1-11. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(96\)00100-8](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(96)00100-8)
- Hodge, D. B., Karim, M. N., Schell, D. J., & McMillan, J. D. (2009). Model-based fed-batch for high-solids enzymatic cellulose hydrolysis. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 152, Article 88. <https://doi.org/10.1007/s12010-008-8217-0>
- Jørgensen, H., Vibe-Pedersen, J., Larsen, J., & Felby, C. (2007). Liquefaction of lignocellulose at high-solids concentrations. *Biotechnology and Applied Microbiology*, 96(5), 862-870. <https://doi.org/10.1002/bit.21115>
- Kristensen, J. B., Felby, C., & Jørgensen, H. (2009). Yield-determining factors in high-solids enzymatic hydrolysis of lignocellulose. *Biotechnology for Biofuels*, 2, Article 11. <https://doi.org/10.1186/1754-6834-2-11>
- Modenbach, A. A., & Nokes, S. E. (2013). Enzymatic hydrolysis of biomass at high-solids loadings – A review. *Biomass and Bioenergy*, 56, 526-544. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.05.031>
- Mohagheghi, A., Tucker, M., Grohmann, K., & Wyman, C. (1992). High solids simultaneous saccharification and fermentation of pretreated wheat straw to ethanol. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 33(2), 67-81. <https://doi.org/10.1007/BF02950778>

- Moscicki, L. (2011). *Extrusion-cooking techniques : applications, theory and sustainability*. Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH.
- Myat, L., & Ryu, G.-H. (2013). Extrusion with thermostable α -amylase injection as pretreatment method for ethanol production from corn starch. *Journal of Microbial and Biochemical Technology*, 5(2), 47-53. <https://doi.org/10.4172/1948-5948.1000099>
- Santala, O., Nordlund, E., & Poutanen, K.(2013). Use of an extruder for pre-mixing enhances xylanase action on wheat bran at low water content. *Bioresource Technology*, 149, 191-199. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.09.029>
- Solihin, B. W., Kim, M. H., Im, B. S., Cha, J. Y., & Ryu, G. H. (2007). Effects of feed moisture content on enzymatic hydrolysis of corn starch in twin-screw extruder and saccharification of the dried extrudates. *Food Science and Biotechnologie*, 16(3), 381-385.
- Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., & İbanoğlu, Ş. (2010) The advantage of using extrusion processing for increasing dietary fibre level in gluten-free products. *Food Chemistry*, 121(1), 156-164. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.12.024>
- Takeiti, C. Y., Kieckbusch, T. G., & Collares-Queiroz, F. P. (2010). Morphological and physicochemical characterization of commercial maltodextrins with different degrees of dextrose-equivalent. *International Journal of Food Properties*, 13(2), 411-425, <https://doi.org/10.1080/10942910802181024>

Влияние различных факторов на качество глазированных конфет при хранении

Кондратьев Николай Борисович

*ВНИИКП – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН
Адрес: 107023, г. Москва, Электrozаводская ул., д. 20, стр. 3
E-mail: conditerpromnbk@mail.ru*

Баженова Алла Евгеньевна

*ВНИИКП – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН
Адрес: 107023, г. Москва, Электrozаводская ул., д. 20, стр. 3
E-mail: bajenova.a@mail.ru*

Руденко Оксана Сергеевна

*ВНИИКП – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН
Адрес: 107023, г. Москва, Электrozаводская ул., д. 20, стр. 3
E-mail: oxana0910@mail.ru*

Осипов Максим Владимирович

*ВНИИКП – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН
Адрес: 107023, г. Москва, Электrozаводская ул., д. 20, стр. 3
E-mail: maxvosipov@yandex.ru*

Лаврухин Михаил Александрович

*ВНИИКП – филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН
Адрес: 107023, г. Москва, Электrozаводская ул., д. 20, стр. 3
E-mail: mikh.lavrukhin@gmail.com*

Целью исследования являлась оценка влияния качества орехов и арахиса и повышенной температуры хранения на сохранность глазированных конфет с корпусами из конфетных масс пралине и типа пралине. Нестабильность качества поступающего сырья обуславливает необходимость контроля показателей качества и установление дополнительных требований к показателям микробиологической и окислительной порчи с целью гарантирования заданного срока годности. Перекисное число жировой фракции используемых в качестве орехового сырья миндаля и арахиса находилось в диапазоне от 0,2 до 9,0 ммоль акт. кисл./кг, кислотное число - в диапазоне от 0,6 до 4,0 мг КОН/г. Показано, что повышение температуры хранения конфет с корпусами на основе орехов и арахиса от 18 °С до 27 °С приводит к повышению скорости микробиологических процессов в 1,2 – 1,5 раза. Показано, что при соотношении количества КМАФАнМ в глазури до $1,0 \times 10^2$ - $2,0 \times 10^2$ КОЕ/г и плесеней до $1,0 \times 10^2$ КОЕ/г риск липолитических изменений является минимальным в течение длительного периода хранения конфет. Для обеспечения безопасных уровней микробиологических показателей и уменьшения риска липолитической порчи конфет при хранении предложено установить дополнительные требования к содержанию плесеней в массах пралине и типа пралине, а также в глазури - не более 50 КОЕ/г. Полученные закономерности позволяют прогнозировать изменения качества глазированных конфет и могут быть использованы для обоснования дополнительных требований к показателям качества используемого сырья с целью уменьшения скорости окислительных и микробиологических процессов и увеличения срока годности.

Ключевые слова: кондитерские изделия, миндаль, арахис, хранение, окислительная порча, микробиологические показатели

Введение

Многокомпонентные и многообразные кондитерские изделия подвержены различным факторам

порчи, в процессе хранения происходят взаимосвязанные и взаимовлияющие окислительные, микробиологические и физические изменения (Кондратьев, 2015; Покровский, Меркулова, & Горбач, 2016).

С учетом развития технологий, а также при расширении ассортимента сырьевых ингредиентов, для обоснования требований к увеличению сроков годности происходит расширение используемых критериев качества и безопасности, разрабатываются новые методы исследований, которые отражаются в нормативно-технических документах (Туровская и др., 2018).

По данным Федеральной службы государственной статистики, в 2019 году производство какао, шоколада и сахаристых кондитерских изделий составило 1963 тыс. тонн в соответствии с ОКПД2. При этом, в период с 2016 по 2020 год производство сахаристых кондитерских изделий выросло на 3,9 % с 641 до 665 тыс. тонн, из которых конфеты занимают второе место в структуре производства¹.

Глазированные конфеты с корпусами из конфетных масс пралине и типа пралине входят в число наиболее популярных изделий^{2,3}.

Технология производства конфет с корпусами из конфетных масс пралине и типа пралине предполагает использование орехов и масла какао. Такие конфеты относятся к одному из наиболее дорогих сегментов кондитерского рынка (Олейников, Аксенова, & Магомедов, 2010).

В связи с тем, что сбор урожая орехового сырья происходит один раз в год, необходимо гарантировать заданное качество такого сырья. Орехи могут храниться до момента использования в течение нескольких месяцев. При их хранении происходят процессы микробиологической и окислительной порчи (Алексина, 2018; Елисеева и др., 2017; Елисеева & Юрина, 2016).

Высокий риск окислительной порчи глазированных конфет с корпусами из конфетных масс пралине и типа пралине обуславливают необходимость разработки особых требований к качеству используемого сырья и условиям хранения таких изделий (Давидович, 2011; Nascimento et al., 2017).

В процессе хранения жиросодержащих пищевых продуктов происходят процессы окисления жиров. Первичными продуктами окисления являются перекисные соединения, не обладающие

вкусом и запахом. При хранении продуктов перекисные соединения превращаются во вторичные низкомолекулярные карбонильные соединения, в результате чего появляется характерный неприятный вкус и посторонний запах.

Исходная микробиологическая обсемененность сырья, поверхности технологических линий, а также повышенная температура хранения глазированных конфет обуславливают высокий риск изменения органолептических характеристик и оказывают влияние на срок годности (Liu, et al., 2019).

Бактериальная микрофлора обладает различной липолитической активностью, что обуславливает изменение органолептических показателей кондитерских изделий в процессе хранения кондитерских изделий (Полякова и др., 2018; Полякова и др., 2018).

В результате процессов миграции влаги между частями изделий, а также при высокой микробиологической обсемененности в отдельных частях изделий могут сформироваться благоприятные условия для развития микроорганизмов, обладающих липолитической активностью.

В конфетах при использовании глазури, изготовленной на основе заменителей масла какао лауринового типа, уже после двух-трех месяцев хранения может появляться неприятный мылкий привкус, обусловленный гидролитическими процессами жировой фракции и образованием свободных жирных кислот, таких как лауриновая и миристиновая (Скокан & Жарикова, 2006; Guerrand, 2017; Talbot, 2017).

Арахис и миндаль, используемые для изготовления корпусов конфет, характеризуются высоким содержанием ненасыщенных жирных кислот, которые подвержены окислительным процессам (Павлова & Коблицкая, 2016).

Для уменьшения скорости окислительных процессов используют различные виды антиоксидантов, что позволяет расширить ассортимент кондитерских изделий, в том числе с функциональными свойствами, повысить их функционально-технологические свойства, а также продлить сроки годности (Ткешелашвили и др., 2020).

¹ С 2016 по 2020 гг производство сахаристых кондитерских изделий в России выросло на 3,9%: с 641 до 665 тыс т. <https://marketing.rbc.ru/articles/12666/>

² Потребительские предпочтения при выборе шоколадных конфет. <https://sfera.fm/articles/konditerskaya/potrebitelskie-predpochteniya-pri-vybore-shokoladnykh-konfet>

³ Всё в шоколаде: Какие конфеты чаще всего покупают россияне. <https://anketolog.ru/2020/11/05/kofety>

Перекисное число и другие показатели окислительной порчи использованы при оценке качества орехового сырья (Yildiz & Karaca, 2021; Gong et al., 2018).

Арахис и миндаль характеризуются широкими диапазонами значений перекисного и кислотного чисел, суммы карбонильных соединений (Таблица 1).

Таблица 1
Показатели окислительной порчи жировой фракции исходного сырья (Кондратьев, 2015)

Показатель	Арахис	Миндаль
Перекисное число, ммоль акт. кисл./кг	0,4 – 9,0	0,2 – 4,5
Кислотное число, мг КОН/г	1,1 – 4,0	0,6 – 1,5
Сумма карбонильных соединений, ммоль/кг	1,0 – 4,2	1,0 – 2,7

Перекисное число жировой фракции орехового сырья находится в диапазоне от 0,2 до 9,0 ммоль акт. кисл./кг, кислотное число – в диапазоне от 0,6 до 4,0 мг КОН/г. Увеличение перекисного и кислотного чисел сопровождается уменьшением срока годности изделий. Перекисное число жировой фракции используемого орехового сырья приемлемого качества, как правило, не превышает величину 10 ммоль акт. кисл./кг.

Однако для кондитерских изделий с длительными сроками годности (более 3 – 6 месяцев) используют сырье с минимальными величинами перекисного числа, приблизительно, 1 - 2 ммоль акт. кисл./кг и менее.

Увеличение суммы карбонильных соединений выше 7–9 ммоль/кг воспринимается потребителями как появление постороннего запаха и неприятного привкуса изделий. Ниже этого уровня продукты окисления жиров органолептически обычно не ощущаются потребителями (Кондратьев, 2015).

Таблица 2
Показатели окислительной порчи жировой фракции арахиса в процессе хранения

Показатель	Длительность хранения при температуре 18 °С, мес.						
	0	1	2	3	4	5	6
Перекисное число, ммоль акт. кисл./кг	0,1 - 2,1	4,1 - 20	5,0 - 52	4,3 - 39	4,6 - 109	4,6 - 124	5,3 - 166
Кислотное число, мг КОН/г	1,4 - 2,9	1,7 - 3,0	2,3 - 3,4	1,9 - 4,3	1,7 - 2,9	1,8 - 3,1	1,9 - 3,4
Сумма карбонильных соединений, ммоль/кг	0,9 - 3,3	1,4 - 3,7	2,6 - 9,7	2,7 - 10	2,8 - 15	3,0 - 18	3,5 - 21

В соответствии с ТР ТС 024/2011 «Технический регламент на масложировую продукцию»⁴ перекисное число в растительных маслах не должно превышать 10,0 мэкв/кг. Методические указания МУК 4.2.1847-04 «Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов» предполагают исследования динамики перекисного и кислотного чисел жировой фракции пищевых продуктов с включением орехов. При проведении таких исследований условно принято считать, что перекисное число не должно превышать 10 ммоль акт. кисл./кг.

Изменение органолептических показателей вкуса и запаха продуктов при окислении жировой фракции обусловлено образованием низкомолекулярных карбонильных соединений (Таблица 2).

Широкие диапазоны показателей окислительной порчи обусловлены различным химическим составом, длительностью и условиями хранения разных партий сырья. Увеличение перекисного числа в процессе хранения сопровождается повышением суммы карбонильных соединений.

Комплекс показателей окислительной порчи жировой фракции обуславливает соответствующий срок годности продуктов. Например, для арахиса разных партий срок годности находится в диапазоне от 2 до 6 месяцев (Кондратьев, 2015).

Предложен ускоренный метод оценки качества масла орехов фундука. Повышение температуры хранения до 62 °С привело к увеличению перекисного и анизидинового чисел. Установлено образование карбонильных соединений, таких как гексаналь, 2-октеналь, 2-деценал и 3-октен-2-он, количество которых коррелировало с величиной перекисного и р-анизидинового чисел. Данный метод может быть использован для оценки качества орехового сырья (Zhang et al., 2019).

⁴ ТР ТС 024/2011. Технический регламент на масложировую продукцию. <https://docs.cntd.ru/document/902320571>

Нестабильность качества поступающего сырья обуславливает необходимость контроля и установление требований к показателям окислительной порчи жиров сырья с целью прогнозирования и гарантирования заданного срока годности кондитерских изделий. Поэтому, целью исследования являлась оценка влияния качества орехов и арахиса и повышения температуры хранения на сохранность глазированных конфет с корпусами из конфетных масс пралине и типа пралине.

Материалы и методы исследования

Материалы

Объектами исследования являлись глазированные конфеты с корпусами из конфетных масс пралине, содержащие 17,6 % миндаля и с корпусами из конфетных масс типа пралине, содержащие 21,6 % арахиса.

Массовая доля жира в корпусах конфет составила 28,5 %, из которых массовая доля масла какао – 15,6 %. Соотношение корпуса и глазури составило 75:25 вес. Вес модельного образца - $16,0 \pm 0,5$ г.

Для глазирования корпусов конфет использована глазурь на основе заменителя масла какао лауринового типа.

Оборудование

Хранение образцов проводили в климатической камере «Climacell 404» (Чехия), термостате «Sanyo Mir 262» (Япония) при температурах 18 °С и 27 °С, относительной влажности окружающего воздуха 40 %.

Жирнокислотный состав определен методом газожидкостной хроматографии на хроматографе Shimadzu GC-2010 с пламенно-индукционным детектором.

Инструменты

Обработку полученных данных и графическую интерпретацию производили с помощью программы MS Excel.

Методы

Экстракция жировой фракции миндаля и арахиса проведена смесью хлороформ – этиловый спирт в соотношении 95:5. Метилловые эфиры жирных кислот получены в соответствии с ГОСТ Р 54686-2011 «Изделия кондитерские. Метод определения массовой доли насыщенных жирных кислот»⁵.

Определение липолитической активности проведено с использованием метода, основанного на гидролитическом расщеплении индоксилацетата под воздействием липолитических ферментов до индоксильной и ацетатной групп с последующим образованием красителя синий индиго (Purr, 1962).

Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов определяли по ГОСТ 10444.15-94 «Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов»⁶; количество плесеней и дрожжей по ГОСТ 10444.12-2013 «Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов»⁷.

Определение органолептических показателей проведено с использованием ГОСТ ISO 6658-2016 «Органолептический анализ. Методология. Общее руководство»⁸.

Процедура исследования

В соответствии с ГОСТ 4570-2014 «Конфеты. Общие технические условия»⁹ условия хранения конфет устанавливает изготовитель в технической документации. Температура хранения 18 °С традиционно используется для конфет, обеспечивая наилучшую сохранность изделий. Кроме того, ранее действовавший ГОСТ 4570-93 «Конфеты. Общие технические условия» регламентировал хранение конфет при температуре (18 ± 3) °С и относительной влажности не более 75 %.

Повышение температуры до 27 °С использовано для моделирования экстремальных условий хра-

⁵ ГОСТ Р 54686-2011. (2013). *Изделия кондитерские. Метод определения массовой доли насыщенных жирных кислот*. М.: Стандартинформ.

⁶ ГОСТ 10444.15-94. (2010). *Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов*. М.: Стандартинформ.

⁷ ГОСТ 10444.12-2013. (2013). *Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов*. М.: Стандартинформ.

⁸ ГОСТ ISO 6658-2016. (2016). *Органолептический анализ. Методология. Общее руководство*. М.: Стандартинформ.

⁹ ГОСТ 4570-2014. (2015). *Конфеты. Общие технические условия*. М.: Стандартинформ.

нения, при которых значительно увеличивается скорость миграции жиров, окислительных и микробиологических процессов, но сохраняется форма и структура конфет.

Относительная влажность окружающего воздуха 40 % обеспечивает минимальную скорость процессов влагопереноса, микробиологических и окислительных изменений глазированных конфет.

В исследовании для глазирования корпусов конфет использована глазурь на основе жира лауринового типа, содержащего 47,0 % лауриновой, 18,0 % миристиновой, 12,2 % пальмитиновой, 14,9 % стеариновой, 2,6 % олеиновой и 0,9 % линолевой жирных кислот.

Хранение исследуемых образцов производили в течение 8 недель при температуре 18 °С и 27 °С.

Липолитическая активность оценивалась по интенсивности окрашивания индикаторных дисков, обработанных раствором индоксилацетата, измерение цветовой окраски индикаторных дисков проводили после термостатирования в эксикаторе.

Результаты и их обсуждение

Миграция жиров между глазурью и жиросодержащим корпусом в процессе хранения глазированных конфет приводит к изменениям химического состава отдельных частей изделий. Исследование показателей окислительной порчи частей изделий в процессе хранения необходимо для выявления причин порчи и прогнозирования сохранности таких кондитерских изделий.

Поскольку части целого изделия подвержены окислительным и микробиологическим изменениям в различной степени, то были исследованы глазурь и пралиновые корпуса конфет. На скорость окислительных процессов оказывает значительное влияние состав жирных кислот жировой фракции арахиса и миндаля, использованных для изготовления образцов конфет (Таблица 3).

Содержание ненасыщенных жирных кислот в арахисе и миндале составляет 75,8 % и 89,2 % соответственно, при этом диненасыщенной линолевой кислоты в арахисе почти в 2 раза выше, чем в миндале. Это свидетельствует о риске окисли-

Таблица 3
Жирнокислотный состав жировой фракции арахиса и миндаля

Жирная кислота	Обозначение	Состав жирных кислот жировой фракции, %	
		арахис	миндаль
Пальмитиновая	16:0	16,9	5,9
Пальмитолеиновая	16:1	0,1	0,3
Стеариновая	18:0	3,6	2,4
Олеиновая	18:1	44,5	70,8
Линолевая	18:2	30,5	18,1
Арахидиновая	20:0	0,7	-
Бегеновая	20:1	0,7	-

тельной порчи конфет, изготовленных с использованием арахиса и миндаля.

Для снижения себестоимости конфет с корпусами из масс пралине и типа пралине, особенно при использовании арахиса, часто производителями используются глазури более дешевого сегмента, изготовленные с использованием заменителей масла какао лауринового типа. В этом случае повышается также риск липолитической порчи, обусловленной образованием свободной лауриновой кислоты под действием липолитических ферментов, который выражается в появлении мыльного привкуса.

Качество орехового сырья формирует качество конфетных масс, в том числе по микробиологическим показателям. ТР ТС 021/2011¹⁰ устанавливает требования по безопасности продуктов.

Например, в соответствии с ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» содержание плесеней в обжаренных орехах не должно превышать 500 КОЕ/г. Однако ТР ТС 021/2011 не учитывает изменение микробиологических показателей при хранении, поэтому провели исследования микробиологических показателей арахиса и миндаля при хранении. Помимо исследования микробиологических показателей, указанных в регламенте, исследовали также содержание спорообразующих мезофильных анаэробных бактерий, обладающих большой резистентностью и термоустойчивостью.

После восьми недель хранения арахиса и миндаля при температуре 18 °С произошли изменения их микробиологических показателей (Таблица 4).

¹⁰ ТР ТС 021/2011. О безопасности пищевой продукции. <https://docs.cntd.ru/document/902320560>

Таблица 4

Микробиологические показатели арахиса и миндаля в процессе их хранения при температуре 18 °С

Наименование	Содержание микроорганизмов, КОЕ/г при хранении при температуре 18 °С, недели							
	КМАФАнМ		Плесени		Дрожжи		Спорообразующие микроорганизмы	
	0	8	0	8	0	8	0	8
миндаль	5,0×10	2,3×10	0	1,4×10 ²	0	0	2,0×10	3,0×10
арахис	2,4×10 ²	2,0×10 ²	3,3×10 ²	5,1×10 ²	0	0	2,0×10	2,0×10

Количество КМАФАнМ при хранении миндаля уменьшилось. Количество спорообразующих микроорганизмов практически не изменилось. Содержание плесеней увеличилось от 0 до 1,4×10² КОЕ/г для миндаля и от 3,3×10² до 5,1×10² КОЕ/г для арахиса.

В соответствии с ТР ТС 021/2011¹¹ содержание плесеней в обжаренных орехах должно быть не более 5,0×10² КОЕ/г. Поскольку содержание плесеней может вырасти в процессе хранения, то использование орехов с таким содержанием плесеней при изготовлении глазированных конфет может приводить к развитию липолитических микроорганизмов и уменьшать срок годности изделий.

Поэтому длительные сроки годности можно обеспечить, используя сырье или полуфабрикаты с дополнительными требованиями к их качеству.

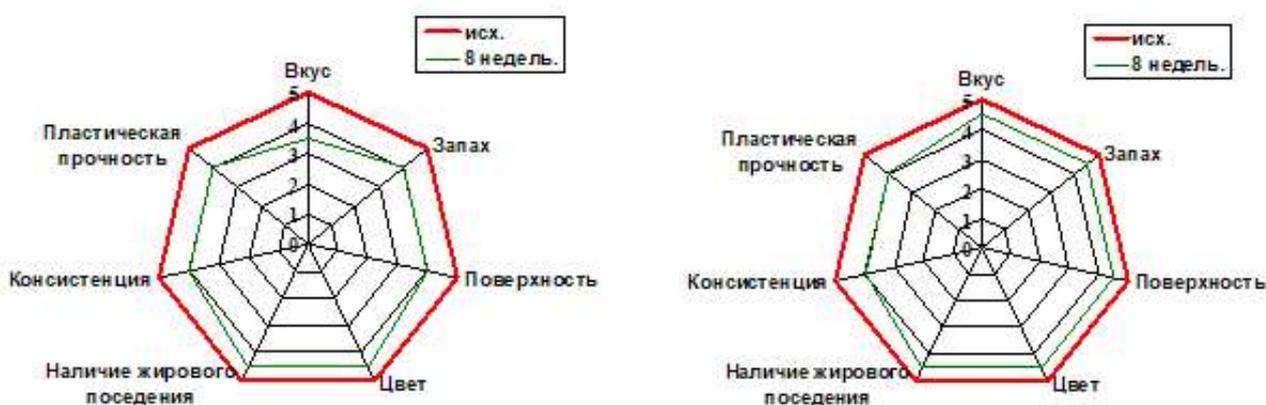
Поскольку при хранении изделий содержание плесеней увеличивается, то с целью обеспечения длительных сроков годности и для умень-

шения скорости изменения органолептических показателей исходная микробиологическая обсеменённость изделий должна быть минимально возможной.

Исследования конфет в процессе хранения показали сохранность высоких органолептических показателей корпусов из конфетной массы пралине на основе миндаля (Рисунок 1).

В корпусах конфет, изготовленных на основе арахиса, отмечено появление неприятного прогорклого привкуса. Вкус и запах конфет, изготовленных на основе миндаля, практически не изменились.

Количество микроорганизмов соответствует требованиям ТР ТС 021/2011¹² «О безопасности пищевой продукции», в соответствии с которым для глазированных конфет с пралиновыми корпусами количество КМАФАнМ должно быть не более 5,0×10⁴ КОЕ/г; плесеней - не более 100 КОЕ/г, дрожжей - не более 50 КОЕ/г.



а – масса типа пралине на основе арахиса

б – масса пралине на основе миндаля

Рисунок 1. Органолептические показатели корпусов в процессе хранения глазированных конфет

¹¹ Там же.

¹² Там же.



а – с корпусом на основе арахиса

б – с корпусом на основе миндаля

Рисунок 2. Органолептические показатели глазури в процессе хранения глазированных конфет

Поскольку для глазирования корпусов конфет использована глазурь на основе заменителя масла какао лауринового типа, которая может подвергаться

липолитической порче, то были проведены исследования органолептических показателей глазури в процессе хранения глазированных конфет (Рисунок 2).

Посторонний запах и неприятный прогорклый привкус глазури появился после 8 недель хранения конфет с корпусами из конфетных масс типа пралине на основе арахиса. Такие изменения для конфет с корпусами на основе миндаля менее значительные.

После 8 недель хранения образцов при температуре 18 °С количество КМАФАНМ в корпусах конфет уменьшилось, количество плесеней в глазури увеличилось в 8 раз от $1,0 \times 10$ КОЕ/г до $8,0 \times 10$ КОЕ/г. Количество спорообразующих микроорганизмов в корпусах конфет также увеличилось (Таблица 5).

Количество КМАФАНМ и спорообразующих микроорганизмов в глазури увеличилось в 6–7 раз. Это способствует повышению липолитической активности.

При соотношении количества КМАФАНМ в глазури до $1,0 \times 10^2$ - $2,0 \times 10^2$ КОЕ/г и плесеней до $1,0 \times 10^2$ КОЕ/г риск липолитических изменений является минимальным в течение длительного периода хранения конфет.

Спорообразующие микроорганизмы не нормируются, однако они оказывают значитель-

ное влияние на микробиологические изменения кондитерских изделий, особенно, при длительном хранении. При определенных условиях такие микроорганизмы превращаются в вегетативную форму и могут быть причиной порчи пищевых продуктов.

Для оценки риска появления мыльного привкуса в глазированных конфетах при их длительном хранении также проведены исследования активности липазы глазури по методу с использованием индоксилацетата. Результаты этих исследований показали практическое отсутствие липолитической активности.

Активность липазы по 10-балловой оценке для исходных изделий составила всего 0–1 балла, поэтому сделан вывод о том, что органолептические изменения изделий при хранении связаны, преимущественно, с окислением жировой фракции.

Таким образом, указанное количество микроорганизмов в глазури, арахисе и миндале, использованных для изготовления конфет, не привело к появлению мыльного привкуса изделий (Таблицы 4, 5).

Ряд производителей кондитерских изделий покупает готовые полуфабрикаты глазури и кондитерских масс, для которых не установлены требования по микробиологическим показателям.

С учетом полученных закономерностей развития микроорганизмов в отдельных частях глазированных конфет с корпусами пралине и типа пралине при хранении для обеспечения безопасных уровней микробиологических показателей пред-

Таблица 5

Микробиологические показатели частей изделий в процессе хранения при температуре 18 °С

Наименование	Содержание микроорганизмов, КОЕ/г, в процессе хранения при температуре 18 °С, недели							
	КМАФАнМ		Плесени		Дрожжи		Спорообразующие микроорганизмы	
	0	8	0	8	0	8	0	8
Корпус на основе миндаля	1,7×10 ²	1,4×10	3,0×10	1,4×10	1,0×10	0	0	3,0×10
Корпус на основе арахиса	6,1×10 ²	6,0×10	2,0×10	4,0×10	2,0×10	0	2,0×10	2,0×10
Глазурь	3,0×10	1,8×10 ²	1,0×10	8,0×10	0	0	1,0×10	7,0×10

ложено установить дополнительные требования к содержанию плесеней в массах пралине и типа пралине не более 5,0×10 КОЕ/г и в глазури не более 5,0×10 КОЕ/г. Такие показатели обеспечивают низкую липолитическую активность глазированных конфет при хранении и тем самым повышают их срок годности.

Соответственно, для обеспечения дополнительных микробиологических показателей масс пралине необходимо использовать орехи и арахис с содержанием плесеней не более 5,0×10 КОЕ/г, т.е. на порядок меньше чем указано в ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»¹⁵ для обжаренных орехов.

Поскольку хранение изделий при их реализации в торговой сети происходит при различных температурах и изменяется риск порчи изделий, то

необходимо оценить влияние повышенной температуры хранения на микробиологические показатели отдельных частей глазированных конфет.

При повышении температуры хранения конфет до 27 °С после 8 недель хранения конфет количество плесеней в глазури увеличилось в 11 раз, а количество КМАФАнМ - в 4 раза, при этом дрожжи не обнаружены (Таблица 6).

Увеличение температуры от 18 °С до 27 °С приводит к повышению количества плесеней в 1,2 – 1,5 раза. Поскольку за период транспортировки, хранения на складах и размещения изделий в торговых сетях не всегда соблюдаются регламентированные условия хранения конфет, то риск микробиологических, а также липолитических изменений увеличивается.

Таблица 6

Микробиологические показатели частей изделий в процессе хранения при температуре 27 °С

Наименование	Содержание микроорганизмов, КОЕ/г, в процессе хранения при температуре 27 °С, недели							
	КМАФАнМ		Плесени		Дрожжи		Спорообразующие микроорганизмы	
	0	8	0	8	0	8	0	8
Корпус на основе миндаля	1,7×10 ²	6,0×10	3,0×10	8,0×10	1,0×10	0	0	3,0×10
Корпус на основе арахиса	6,1×10 ²	1,0×10 ²	2,0×10	5,0×10	2,0×10	0	2,0×10	2,0×10
Глазурь	3,0×10	1,1×10 ²	1,0×10	1,1×10 ²	0	0	1,0×10	5,0×10

Таким образом, при хранении глазированных изделий происходят микробиологические и окислительные процессы, которые приводят к изменениям органолептических показателей, обусловленным окислением жиров.

Выводы

Показано, что при соотношении количества КМАФАнМ в глазури до 1,0×10² - 2,0×10² КОЕ/г и плесеней до 1,0×10² КОЕ/г риск липолитических

¹⁵ Там же

изменений является минимальным при температуре хранения конфет 18 °С.

Увеличение температуры хранения глазированных конфет от 18 °С до 27 °С приводит к увеличению количества плесеней в 1,2–1,5 раза и повышению риска липолитических процессов.

С учетом полученных закономерностей развития микроорганизмов в отдельных частях глазированных конфет с корпусами пралине и типа пралине

для обеспечения безопасных уровней микробиологических показателей глазури предложено установить дополнительные требования к содержанию плесеней в глазури – не более $5,0 \times 10$ КОЕ/г. Для обеспечения дополнительных микробиологических показателей масс пралине и типа пралине необходимо использовать орехи и арахис с содержанием плесеней не более $5,0 \times 10$ КОЕ/г.

Полученные результаты могут быть использованы для обоснования дополнительных требований к параметрам окислительной и микробиологической стабильности используемого сырья и полуфабрикатов для уменьшения скорости окислительных процессов порчи и увеличения срока годности глазированных изделий.

Литература

- Алексина, К. С. (2018). Микрофлора орехов, пряностей и специй. *Молодежь и наука*, 5, 1.
- Давидович, Е. А. (2011). Влияние орехов на формирование потребительских свойств и сроки хранения пралиновых конфет. *Пищевая и перерабатывающая промышленность. Реферативный журнал*, 2, 407.
- Елисеева, Л. Г., & Юрина, О. В. (2016). Исследование окислительных процессов в жирах орехов в процессе хранения. *Вопросы питания*, 85(S2), 24-25.
- Елисеева, Л. Г., Елисеев, М. Н., & Юрина, О. В. (2017). Изучение сравнительной характеристики пищевой ценности орехов с целью установления потенциальных рисков окислительной порчи на этапах товародвижения. *Товаровед продовольственных товаров*, 10, 10-15.
- Кондратьев, Н. Б. (2015). *Оценка качества кондитерских изделий. Повышение сохранности кондитерских изделий*. М.: Перо.
- Олейников, А. Я., Аксенова, Л. М., & Магомедов, Г. О. (2010). *Технология кондитерских изделий*. СПб.: РАПП.
- Павлова, И. В., Коблицкая, М. Б. (2016). Исследование влияния жирнокислотного состава кондитерских жиров для начинок конфет на скорость миграции жидкой жировой фазы. *Вестник ВНИИЖ*, 1-2, 23-25.
- Покровский, Н. В., Меркулова, Е. Г., & Горбач, Д. А. (2016). Особенности хранения мучных кондитерских изделий. *Вестник ОрелГИЭТ*, 4, 121-123.
- Полякова, С. П., Баженова, А. Е., & Пестерев, М. А. (2018). Анализ процессов формирования микробиоты для обеспечения качества и безопасности кондитерской продукции. *Кондитерское и хлебопекарное производство*, 7-8, 6-10.
- Полякова, С. П., Пестерев, М. А., & Баженова, А. Е. (2018). Метод прогнозирования изменения качества какао содержащих полуфабрикатов по их микробиологической обсемененности и кислотности. В *Инновационно-технологическое развитие пищевой промышленности - тенденции, стратегии, вызовы: Сборник статей 21-й Международной научно-практической конференции* (с. 203-207). М.: ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН.
- Скокан, Л. Е., & Жарикова, Г. Г. (2006). *Микробиология основных видов сырья и полуфабрикатов в производстве кондитерских изделий*. М.: ДеЛи принт.
- Ткешелашвили, М. Е., Бобожонова, Г. А., & Сорокина, А. В. (2020). Разработка конфет типа ассорти повышенной пищевой ценности и сохранности. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 4, 139-151. <https://doi.org/10.36107/spfr.2020.319>
- Туровская, С. Н., Галстян, А. Г., Петров, А. Н., Радаева, И. А., Илларионова, Е. Е., Семипятный, В. К., & Хуршудян, С. А. (2018). Безопасность молочных консервов как интегральный критерий эффективности их технологии. Российский опыт. *Пищевые системы*, 1(2), 29-54. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2018-1-2-29-54>
- Gong, A., Shi, A., Liu, H., Yu, H., Liu, L., Lin, W., & Wang, Q. (2018). Relationship of chemical properties of different peanut varieties to peanut butter storage stability. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(5), 1003-1010. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)61919-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)61919-7)
- Guerrand, D. (2017). Lipases industrial applications: Focus on food and agroindustries. *Oilseeds and fats, Crops and Lipids*, 24(4), 1-7. <https://doi.org/10.1051/ocl/2017031>
- Liu, K., Liu, Y., & Chen, F. (2019). Effect of storage temperature on lipid oxidation and changes in nutrient contents in peanuts. *Food Science & Nutrition*, 7(7), 2280-2290. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1069>

- Nascimento, M. S., Carminati, J. A., Silva, I. . R. N., Silva, D. L., Bernardi, A. O., & Copetti, M. V. (2018). Salmonella, escherichia coli and enterobacteriaceae in the peanut supply chain: From farm to table. *Food Research International*, 105, 930-935. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.021>
- Purr, I. A. (1962). Detection of lipase activity. *Revue Int. Choc*, 17, 567.
- Talbot, G. (2014). Fats for chocolate and sugar confectionery. In S. T. Beckett, M. S. Fowler, G. R. Ziegler (Eds.) *Fats in food technology* (pp. 153-184). Wiley Blackwell, West Sussex, UK. <https://doi.org/10.1002/9781118923597.ch7>
- Yıldız, A. Y., & Karaca, H. (2021). Comparison of the oil quality of light and dark walnuts under different storage conditions. *Journal of Oleo Science*, 70(5), 615-632. <https://doi.org/10.5650/jos.ess20266>
- Zhang, Y., Lyu, C., Meng, X., Dong, W., Guo, H., Su, C., & Zhang, X. (2019). Effect of storage condition on oil oxidation of flat-european hybrid hazelnut. *Journal of Oleo Science*, 68(10), 939-950 <https://doi.org/10.5650/jos.ess19120>

Influence of Various Factors on the Quality of Glazed Sweets During Storage

Nikolay B. Kondratyev

*VNIIPK - branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution
"Federal Research Center of Food Systems named after V.M. GorbatoV "RAS
107023, Moscow, ElectroZavodskaya st., 20, bldg. 3
E-mail: conditerpromnbk@mail.ru*

Alla E. Bazhenova

*VNIIPK - a branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution
"Federal Research Center of Food Systems named after V.M. GorbatoV "RAS
107023, Moscow, ElectroZavodskaya st., 20, bldg. 3
E-mail: bajenova.a@mail.ru*

Oksana S. Rudenko

*VNIIPK - a branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution
"Federal Research Center of Food Systems named after V.M. GorbatoV "RAS
107023, Moscow, ElectroZavodskaya st., 20, bldg. 3
E-mail: oxana0910@mail.ru*

Maxim V. Osipov

*VNIIPK - branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution
"Federal Research Center of Food Systems named after V.M. GorbatoV "RAS
107023, Moscow, ElectroZavodskaya st., 20, building 3
E-mail: maxvosipov@yandex.ru*

Mikhail A. Lavrukhin

*VNIIPK - a branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution
"Federal Research Center of Food Systems named after V.M. GorbatoV "RAS
107023, Moscow, ElectroZavodskaya st., 20, bldg. 3
E-mail: mikh.lavrukhin@gmail.com*

The aim of the study was to assess the effect of the quality of nuts and peanuts and an increase in storage temperature on the safety of glazed sweets with bodies made of praline and praline-type candy masses. The instability of the quality of the incoming raw materials necessitates the control of quality indicators and the establishment of additional requirements for the indicators of microbiological and oxidative deterioration in order to guarantee the specified shelf life. The peroxide number of the fat fraction used as nut raw materials of almonds and peanuts was in the range from 0.2 to 9.0 mmol act.O²/kg, acid number - in the range from 0.6 to 4.0 mg KOH/g. It is shown that an increase in the storage temperature of sweets with shells based on nuts and peanuts from 18 °C to 27 °C leads to an increase in the rate of microbiological processes by 1.2 - 1.5 times. It has been shown that when the ratio of the amount of Quantity of Mesophilic Aerobic and Facultative Anaerobic Microorganisms (QMAFAnM) in the glaze is up to 1.0×10² - 2.0×10² CFU/g and molds up to 1.0×10² CFU/g, the risk of lipolytic changes is minimal during a long period of storage of sweets. To ensure safe levels of microbiological indicators and reduce the risk of lipolytic spoilage of sweets during storage, it was proposed to establish additional requirements for the content of molds in the mass of pralines and pralines, as well as in the glaze - no more than 50 CFU / g.. The obtained patterns make it possible to predict changes in the quality of glazed sweets and can be used to substantiate additional requirements for the quality indicators of the raw materials used in order to reduce the rate of oxidative and microbiological processes and increase the shelf life.

Keywords: confectionery, almonds, peanuts, storage, oxidative spoilage, microbiological indicators

References

- Aleksina, K. S. (2018). Mikroflora orekhov, pryanos-tei i spetsii [Microflora of nuts, spices and spices]. *Molodezh' i nauka [Youth and Science]*, 5, 1.
- Davidovich, E. A. (2011). Vliyanie orekhov na formirovanie potrebitel'skikh svoystv i sroki khraneniya pralinovykh konfet [The influence of nuts on the formation of consumer properties and shelf life of praline sweets]. *Pishchevaya i pererabatyvayushchaya promyshlennost'. Referativnyi zhurnal [Food and Processing Industry. Abstract Journal]*, 2, 407.
- Eliseeva, L. G., & Yurina, O. V. (2016). Issledovanie oksislitel'nykh protsessov v zhirakh orekhov v protsesse khraneniya [Investigation of oxidative processes in nut fats during storage]. *Voprosy pitaniya [Questions of Nutrition]*, 85(S2), 24-25.
- Eliseeva, L. G., Eliseev, M. N., & Yurina, O. V. (2017). Izuchenie sravnitel'noi kharakteristiki pishchevoi tsennosti orekhov s tsel'yu ustanovleniya potentsial'nykh riskov oksislitel'noi porchi na etapakh tovarodvizheniya [The study of the comparative characteristics of the nutritive value of nuts in order to establish the potential risks of oxidative spoilage at the stages of commodity circulation]. *Tovaroved prodovol'stvennykh tovarov [Commodity Expert of Food Products]*, 10, 10-15.
- Kondrat'ev, N. B. (2015). Otsenka kachestva konditerskikh izdelii. Povyshenie sokhrannosti konditerskikh izdelii [Assessment of the quality of confectionery. Improving the preservation of confectionery]. Moscow: Pero.
- Oleinikov, A. Ya., Aksenova, L. M., & Magomedov, G. O. (2010). *Tekhnologiya konditerskikh izdelii [Confectionery technology]*. S-Petersburg: RAPP.
- Pavlova, I. V., Koblitskaya, M. B. (2016). Issledovanie vliyaniya zhirkokislotochnogo sostava konditerskikh zhirov dlya nachinok konfet na skorost' migratsii zhidkoi zhirovoy fazy [Issledovaniye vliyaniya zhirkokislotochnogo sostava konditerskikh zhirov dlya nachinok konfet na skorost' migratsii zhidkoy zhirovoy fazy]. *Vestnik VNIIZh [Bulletin of the Scientific Research Institute of Railway Transport]*, 1-2, 23-25.
- Pokrovskii, N. V., Merkulova, E. G., & Gorbach, D. A. (2016). Osobennosti khraneniya muchnykh konditerskikh izdelii [Features of storing flour confectionery]. *Vestnik OrelGIET [Bulletin of the Oryol State University of Economics and Trade]*, 4, 121-123.
- Polyakova, S. P., Bazhenova, A. E., & Pesterev, M. A. (2018). Analiz protsessov formirovaniya mikrobioty dlya obespecheniya kachestva i bezopasnosti konditerskoi produktsii [Analysis of microbiota formation processes to ensure the quality and safety of confectionery products]. *Konditerskoe i khlebopekarnoe proizvodstvo [Confectionery and Bakery Production]*, 7-8, 6-10.
- Polyakova, S. P., Pesterev, M. A., & Bazhenova, A. E. (2018). Metod prognozirovaniya izmeneniya kachestva kakaosoderzhashchikh polufabrikatov po ikh mikrobiologicheskoi obsemenennosti i kislotnosti [Method for predicting changes in the quality of cocoa-containing semi-finished products by their microbiological contamination and acidity]. In *Innovatsionno-tekhnologicheskoe razvitiye pishchevoi promyshlennosti - tendentsii, strategii, vyzovy: Sbornik statei 21-i Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [Innovative and technological development of the food industry - trends, strategies, challenges: Collection of articles of the 21st International Scientific and Practical Conference]* (pp. 203-207). Moscow: FNTs pishchevykh sistem im. V. M. Gorbatova RAN.
- Skokan, L. E., & Zharikova, G. G. (2006). *Mikrobiologiya osnovnykh vidov syr'ya i polufabrikatov v proizvodstve konditerskikh izdelii [Microbiology of the main types of raw materials and semi-finished products in the production of confectionery]*. Moscow: DeLi print.
- Tkeshelashvili, M. E., Bobozhonova, G. A., & Sorokina, A. V. (2020). Razrabotka konfet tipa assorti povyshennoi pishchevoi tsennosti i sokhranyaemosti [Development of assorted candies with increased nutritional value and preservation]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya [Storage and Processing of Farm Products]*, 4, 139-151. <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.319>
- Turovskaya, S. N., Galstyan, A. G., Petrov, A. N., Radaeva, I. A., Illarionova, E. E., Semipyatnyi, V. K., & Khurshudyan, S. A. (2018). Obzor. Bezopasnost' molochnykh konservov kak integral'nyi kriterii effektivnosti ikh tekhnologii. Rossiiskii opyt [Review. Safety of canned milk as an integral criterion for the effectiveness of their technology. Russian experience]. *Pishchevye sistemy [Food Systems]*, 1(2), 29-54. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2018-1-2-29-54>
- Gong, A., Shi, A., Liu, H., Yu, H., Liu, L., Lin, W., & Wang, Q. (2018). Relationship of chemical properties of different peanut varieties to peanut butter storage stability. *Journal of Integrative Agriculture*, 17(5), 1003-1010. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(18\)61919-7](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(18)61919-7)
- Guerrand, D. (2017). Lipases industrial applications: Focus on food and agroindustries. *Oilseeds and fats, Crops and Lipids*, 24(4), 1-7. <https://doi.org/10.1051/ocl/2017031>
- Liu, K., Liu, Y., & Chen, F. (2019). Effect of storage temperature on lipid oxidation and changes in nutrient contents in peanuts. *Food Science & Nutrition*, 7(7), 2280-2290. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1069>
- Nascimento, M. S., Carminati, J. A., Silva, I. C. R. N., Silva, D. L., Bernardi, A. O., & Copetti, M. V. (2018). Salmonella, escherichia coli and enterobacteriace-

- ae in the peanut supply chain: From farm to table. *Food Research International*, 105, 930-935. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.021>
- Purr, I. A. (1962). Detection of lipase activity. *Revue Int. Choc*, 17, 567.
- Talbot, G. (2014). Fats for chocolate and sugar confectionery. In S. T. Beckett, M. S. Fowler, G. R. Ziegler (Eds.) *Fats in food technology* (pp. 153-184). Wiley Blackwell, West Sussex, UK. <https://doi.org/10.1002/9781118923597.ch7>

Исследование фитохимической платформы ряда растений, обладающих антидиабетическим эффектом

Гиёсзода Асомуддин

*Негосударственное образовательное учреждение
«Медицинский колледж» района М. С. Хамадони
Адрес: 735140 Таджикистан, Хатлонская область,
р.М.С.А. Хамадони ул. Сомони, д. 26
E-mail: asom_giysov@mail.ru*

Степанова Элеонора Федоровна

*Пятигорский медико-фармацевтический институт –
филиал ФГБОУ ВО ВолгГМУ Минздрава России
Адрес: 3573352, Ставропольский край, г. Пятигорск, пр. Калинина, д. 11
E-mail: e.f.stepanova@mail.ru*

Шаропов Фарух Сафолбекович

*Научно-исследовательское учреждение «Китайско-таджикский инновационный
центр натуральных продуктов», Национальная Академия Наук Республики Таджикистан
Адрес: 734063, Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни 299/2,
E-mail: shfarukh@mail.ru*

Бобизода Гуломқодир Мукамал

*Академия образования Таджикистана
Адрес: 734024, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Айни, д. 126
E-mail: bobievgt@mail.ru*

Назаров Умар Абдусаломович

*ООО «Медицинский колледжа Хамадони»
Адрес: 735140 Республика Таджикистан, Хатлонская обл.
район М.С. А Хамадони ул. Сомони, д. 26
E-mail: Nazarov_umar@mail.ru*

Одной из актуальнейших проблем современного здравоохранения является лечение и профилактика сахарного диабета, который представляет собой сложное системное заболевание с комплексом обменных изменений, что в конечном итоге может привести к поздним диабетическим осложнениям. Это ставит диабет в ряд острейших медико-социальных проблем, требующих постоянного внимания и, конкретных решений; в том числе создания оригинальных лекарственных средств эффективных и безопасных. В статье рассматривается один из аспектов проблемы – лечение и профилактика сахарного диабета с использованием фитокомпозиции, составленной на базе растений отечественной флоры. Компоненты состава – растения, произрастающие в Таджикистане и имеющие гарантированную сырьевую базу. А так как в последнее время вырос интерес к лечению сахарного диабета в связи с появлением коронавирусной инфекции и её последствиями, то актуальность данного фрагмента отчётливо выражена. И особенно привлекательно то обстоятельство, что исследуется с этой целью именно природная комбинация, которая имеет оригинальный состав. Предлагаемый комплекс в форме сухих экстрактов проявил сахароснижающую активность. В связи с этим были выполнены фитохимические исследования в отношении полифенольного комплекса и витамина С, показавшие положительный результат. Данные исследования были проведены с использованием спектрофотометра. В качестве доминанты по фармакологическим показателям была выбрана солодка: при этом был определен тритерпеновый комплекс с преобладанием глицирризиновой кислоты, влияющий на антидиабетический эффект, который был апробирован и доказан, в свою очередь, на модели сахарного диабета. При определении глицирризиновой кислоты в сухом экстракте, ее количество составило 6,197%. Таким образом, было подтверждено наличие в исследуемой фитокомпозиции, состоящей из

сухих экстрактов солодки, галеги, липы, крапивы, мяты, шиповника, полифенольного комплекса и витамина С, а также отмечена значимая роль в этом комплексе солодки голой.

Ключевые слова: сухие экстракты, галега, солодка, липа, мята, шиповник, крапива, флавоноиды, тритерпеноиды, глицирризиновая кислота, аскорбиновая кислота, спектрофотометрия

Введение

Сахарный диабет занимает одну из драматических страниц мировой медицины. В последние годы проблема сахарного диабета обострилась, а в настоящее время стала еще более выраженной в связи с появлением короновирусной инфекции, которая усилила внимание ученых и врачей-клиницистов к этому заболеванию, т.к. диабетики оказались, прежде всего, в зоне наибольшего риска, а сочетание диабета с вирусной инфекцией имело очень тяжелые последствия.

По данным Международной диабетической федерации (IDF) число «диабетиков» во всем мире составляет значительно большие - 300 миллионов, и цифра эта имеет тенденцию к росту. Разносторонних исследований в области сахарного диабета немало и, прежде всего, отечественных: это и работы И.И. Дедова, А.В. Древалю, Ю.И. Сунцова и других авторов. Однако большинство из них касаются вопросов клинического и фармакологического плана. Адекватность же терапии сахарного диабета по-прежнему остается самым актуальным вопросом, так как гипергликемия является пусковым моментом многих патогенетических механизмов, способствующих развитию сосудистых осложнений.

Это является веским обоснованием для необходимости разработки оригинальных отечественных лекарственных средств, представляемых в виде рациональных и комфортных лекарственных форм, способствующих нивелированию побочных эффектов и усилению гипогликемического действия. (Сунцов и др. 2011; Дедов и др., 2008; Хин & Бен, 2011; Бернгард, 2011; Гиёсзода и др., 2020). Все это делает актуальным создание оригинальных отечественных лекарственных средств, в том числе и на основе природных соединений (Дедов и др., 2021, Асфандиярова, 2015, Дмитрук, 1990). Приоритетными группами лекарственных растений в отношении лечения и профилактики сахарного диабета являются представители семейства Бобовых (*Fabaceae*), Розоцветных (*Rosaceae*) и других. (Хабибрахманова, и др., 2016, Попов и др. 2016). Наличие и значительные количества этих действующих компонентов в рассматриваемых фитообъектах подтверждают возможность и целесообразность их использования в качестве составляющего комплекса в соответствующих лекарственных формах.

Их гипогликемический эффект обеспечен комплексом действующих компонентов, среди которых выделяется прежде всего фенольная группа и особенно в сочетании с тритерпеноидами, реже – алкалоидами, и, конечно, витаминным комплексом и органическими кислотами. (Ишанкулова, 2014; Абжалелов и др., 2016).

Материалы и методы исследования

Объекты исследования:

Сухие экстракты галеги, солодки.

Исходные растения (галега, солодка) обладают выраженным противодиабетическим действием, поэтому они предполагаются как доминирующие компоненты в данном составе (Нуралиева & Чалданбаева 2005; Егоров & Куркин, 2013)

Сухие экстракты липы, мяты, шиповника, крапивы носят сопутствующий характер: широко используется в различных комплексных фитоставах, обладающих различными лечебно-профилактическими свойствами. (Громовая и др., 2009, Нуралиева & Чалданбаева, 2005; Балаболкин и др., 2003, Анварова, 2011).

Оборудование

Фотокolorиметр КФК – 2МП. Использовались стеклянные кюветы с толщиной слоя 1 см.

Спектрофотометр UV – 1800 SHIMADZU – Япония.

Методы и инструменты

Реактивы. Использовались: аскорбиновая кислота, рутин, хлорид алюминия, кристаллический йод, йодид калия, этиловый спирт, вода очищенная были с аналитической или высокой степени чистоты, фирмы Алдрих (Aldrich), и Мерк (Merck), Германия.

Методы анализа

С помощью традиционных методик проводили: *Определение аскорбиновой кислоты.* Содержание аскорбиновой кислоты определяли методом йо-

дометрии, по Европейской фармакопее. Навеску экстракта (0,150 г) растворили в 10 мл разбавленной серной кислоты и 80 мл воды без диоксида углерода. Добавили 1 мл 1% раствора крахмала. Затем подвергли титрованию 0,05 М йода до получения стойкого фиолетово-синего окрашивания. Использовали 1 мг / мл витамина С в качестве стандартного раствора. *Определение общей суммы флавоноидов.* Исследования проводили методом калориметрии на фотоколориметре КФК-2 МП (стеклянные кюветы с толщиной слоя 1 см). 3 мл

раствор экстракта (0,4 мг/мл) или стандартного раствора смешивали с 2 мл 2% раствора $AlCl_3$. Поглощение измеряли при 440 нм. В качестве стандарта выбрали рутин (ч.д.а.). Калибровочную кривую строили в зависимости от концентраций рутина (от 10 до 400 мкг/мл) и оптической плотности раствора.

В итоге был построен калибровочный график (Рисунок 1), по результатам которого проводился количественный анализ.

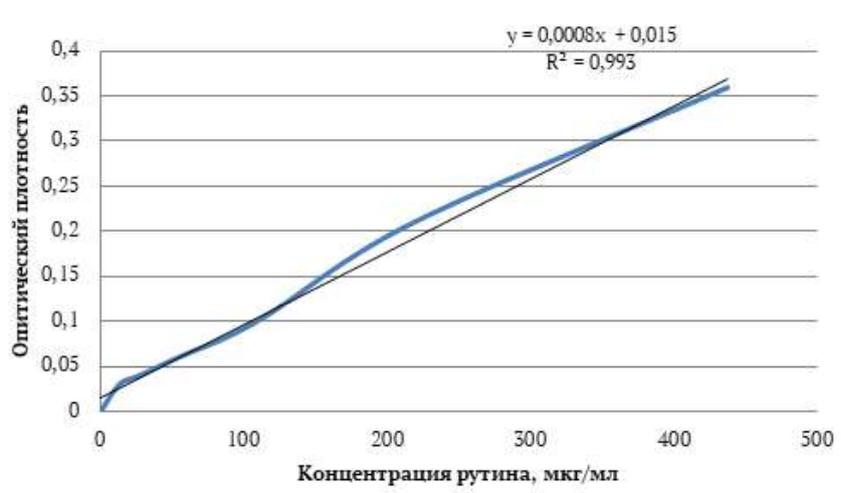


Рисунок 1. Калибровочный график зависимости концентрации рутина из оптической плотности

Процедура исследования

Фитохимические исследования выполнялись согласно существующим официальным методикам. (ФС,ГФ XIV 2,5.0040.15.) Посвящены количественному определению важных для стандартизации разрабатываемых лекарственных форм показателей. Сконструированы составы, в которых в определенных соотношениях входили сухие экстракты таких растений как галега, солодка, липа, мята, шиповник, крапива. Соответствующие сухие экстракты с нелимитированным верхним пределом были получены традиционно: получение первичной вытяжки (1-ый технологический этап экстракции) проводили двухступенчатой ремацерацией. Далее шли также традиционные этапы:

- получение извлечения;
- очистка извлечения;
- сгущение извлечения;
- высушивание извлечения до сухого экстракта.

Составы исследуемых композиций приведены в Таблице 1.

Таблица 1
Состав исследуемых композиций

Состав	Соотношение компонентов, %					
	Галега	Солодка	Липа	Мята	Шиповник	Крапива
1	60	30	10	-	-	-
2	10	60	-	30	-	-
3	10	10	-	-	40	40

Оказалось, что представленные составы обладают выраженной сахароснижающей активностью (Ишанкулова, 2014; Ишанкулова и др., 2017; Шарофова и др., 2017).

Изучение гипогликемической активности проводили следующим образом: животным с моделью сахарного диабета 2 типа однократно вводили исследуемые препараты и измеряли уровень глюкозы в крови до введения и через 60, 120, 180, 360 минут после введения. Выполняли тест на резистентность глюкозы на 1, 7 и 14 сутки введения исследования препаратов. После однократного введения исследуемых составов наблюдалось

выраженное снижение концентрации глюкозы, которая была наиболее выражена через 60 минут и сохранялась на протяжении всего времени измерения. (Ишанкулова, 2014, Ишанкулова и др., 2017)

При этом выбор и соотношение компонентов в нашей комплексной фитосубстанции был обоснован их антидиабетической активностью (Балаболкин, 2003; Громова, 2008; Киселева & Смирнова, 2009; Корсун, 2016)

Результаты и их обсуждение

Было показано, что выбранные фитообъекты содержат значительные количества витамина С и флавоноидов. Соответствующие сведения были подтверждены экспериментально. Данные проведенных фитохимических исследований представлены в Таблице 2.

Учитывая наиболее выраженные количественные показатели суммы флавоноидов, далее мы акцентировали внимание на экстракте солодки. Определение глицирризиновой кислоты проводили согласно существующей методики с некоторыми коррективами.

Аналитическую пробу сырья измельчали до величины частиц, проходящих сквозь сито с отверстиями размером 0,2 мм. Около 2,0 г (точная навеска) измельченного сырья помещали в коническую колбу вместимостью 150 мл, прибавляли 20 мл ацетонового раствора азотной кислоты 3 % и смесь оставляли на 1 ч при частом и сильном перемешивании. Извлечение фильтровали в цилиндр вместимостью 100 мл, промывали 10 мл ацетона и фильтровали через тот же фильтр. В колбу с сырьем прибавляли еще 20 мл ацетона, которым одновременно смывали сырье с фильтра, и смесь кипятили с обратным холодильником на водяной бане в течение 5 мин. Извлечение фильтровали через тот же фильтр в тот же цилиндр. Экстракцию горячим ацетоном повторяли: еще 2 раза, промывали ацетоном до тех пор, пока объем в цилиндре не достиг 100 мл. Извлечение из цилиндра выливали в стакан вместимостью 200 мл. Цилиндр ополаскивали 40 мл спирта, который затем выливали в тот же стакан. Далее по каплям при интенсивном помешивании добавляли аммиака концентрированный раствор до появления обильного светло желтого творожистого осадка (рН 8,3 - 8,6 устанавливали потенциометрически или по порозовению влажной фенолфталеиновой бумаги). Осадок вместе с

маточной жидкостью переносили на фильтр, помещенный в воронку Бюхнера, и жидкость отсасывали. Стакан и фильтр с осадком промывали 50 мл ацетона в 3 – 4 приема. Осадок с фильтром переносили в стакан, в котором производилось осаждение, и растворяли в 50 мл воды. Полученный раствор количественно переносили в мерную колбу вместимостью 250 мл. Фильтр несколько раз промывали небольшими порциями воды и присоединяли их к основному раствору. Доводили объем раствора до метки (раствор А). 3,0 мл раствора А помещали в мерную колбу вместимостью 50 мл и доводили объем раствора водой до метки (раствор Б). Оптическую плотность раствора Б измеряли на спектрофотометре (UV-1800 SHIMADZU – Япония) при длине волны 258 нм в кювете с толщиной слоя в 10 мм, в качестве раствора сравнения использовали воду. Содержание глицирризиновой кислоты в абсолютно сухом сырье в процентах (X) вычисляем по формуле:

$$X = (A \cdot 822 \cdot 250 \cdot 50 \cdot 100) / (a \cdot 3 \cdot 11000 \cdot 1000)$$

где: А – оптическая плотность раствора Б; а – навеска сырья, г; 822 – молекулярная масса глицирризиновой кислоты; 11000 – молярный показатель поглощения.

$$X = (3,961 \cdot 822 \cdot 250 \cdot 50 \cdot 100) / (2,0094 \cdot 3 \times 11000 \cdot 1000) = 61,377 \text{ гр/л (6,137 \%)}$$

Количество глицирризиновой кислоты в экстракте корней солодки голой составляет 6,137%, что соответствует норме ФС.ГФ.2.5.0040.15.

Таблица 2
Содержание витамина С и общая сумма флавоноидов в экстрактах исследуемых растений

Название экстракта	Содержание витамин С		Общая сумма флавоноидов, мг ЭР*/грамм экстракта
	мг/грамм экстракта	%	
Солодки	12,15	1,215	189,0625
Липы	16,53	1,65	292,1875
Галега	12,67	1,27	176,5625
Шиповник	45,85	4,59	76,5625
Крапива	12,15	1,22	60,9375
Мята	15,47	1,55	110,9375

*эквивалент рутина

Данные свидетельствуют о целесообразности использования рассматриваемых фитообъектов в комплексном лекарственном средстве соответствующего целевого профиля.

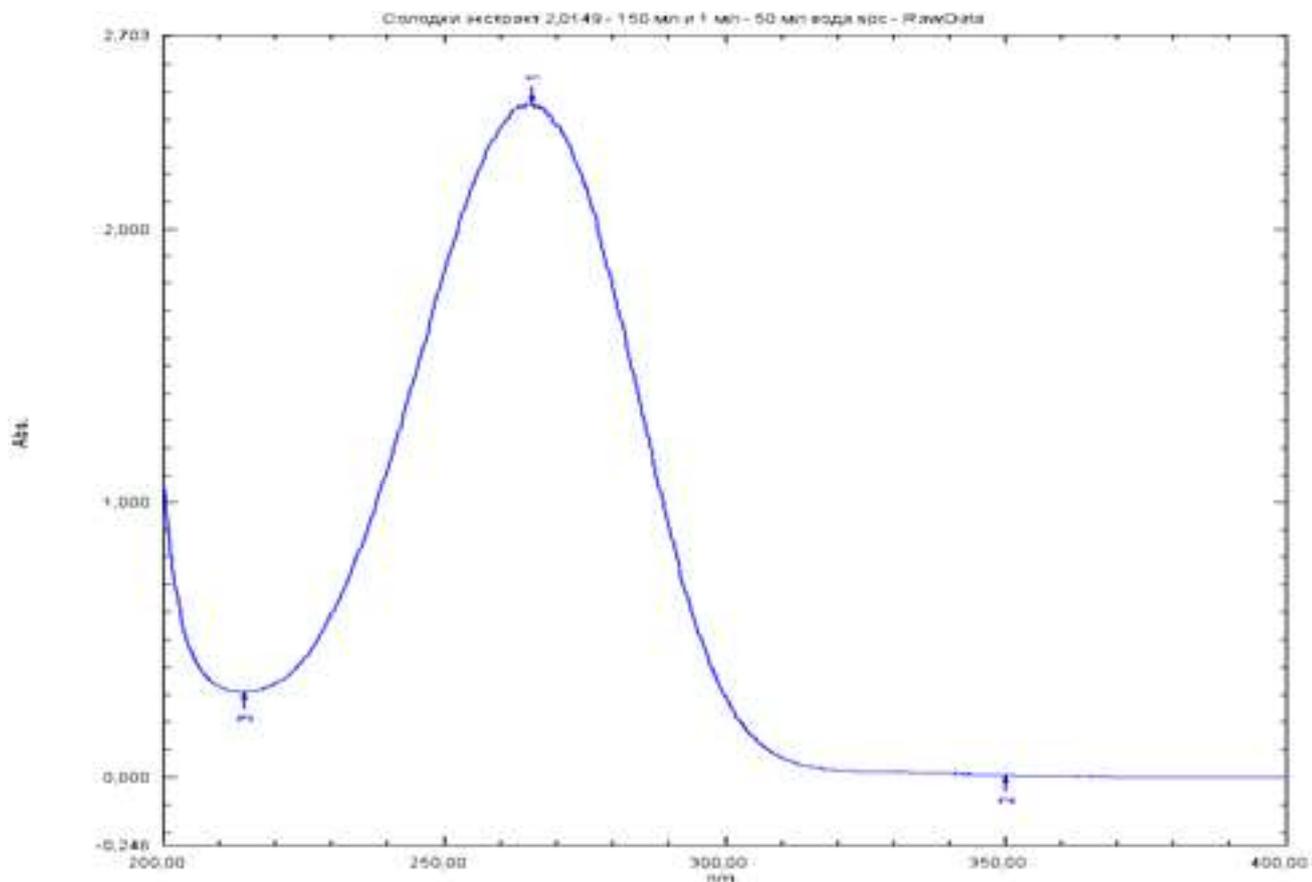


Рисунок 2. УФ спектр глицирризиновой кислоты при длине волны 258 нм составлет – 2,297

Выводы

Таким образом, показано, что все компоненты, рекомендуемые в качестве составляющих антидиабетической фитокомпозиции, содержат полифенольный комплекс и витамин С.

Что касается несомненно доминирующей составляющей экстракта корней солодки голой, то в нем содержатся также тритерпеноид – глицирризиновая кислота в достаточном количестве, что и предполагает обеспечение антидиабетического эффекта, а также характеризует возможность использовать полученные результаты для последующей стандартизации разрабатываемых лекарственных форм антидиабетического действия.

Литература

- Абжалелов, Б. Б., Кужамбердиева, С. Ж., Асемов, А. Б., & Мустафа, А. Т. (2016). Получение глицирризиновой кислоты из солодкового корня. *Международный журнал экспериментального образования*, 5-1, 100-104.
- Анварова, Ш. С. (2011). Новые подходы к лечению сахарного диабета 2 типа. В *Сборник материалов НПК ТГМУ им. Абуали ибни Сино, посвящ. 20-летию гос. независимости РТ* (с. 123-124). Душанбе.
- Асфандиярова, Н. С. (2015). Смертность при сахарном диабете. *Сахарный диабет*, 18(4), 12-21. <https://doi.org/10.14341/DM6846>
- Балаболкин, М. И., Никишова, М. С., Волкова, А. К., Недосугова, Л. В., Белоярцева, М. Ф., Зуева, М. В., Цапенко, И. В., Беглярова, А. С., & Рудько, И. А. (2003). Применение антиоксидантов из группы флавоноидов в лечении диабетической ретинопатии при сахарном диабете типа 2. *Проблемы эндокринологии*, 49(3), 3-6. <https://doi.org/10.14341/probl11577>
- Гиёсзода, А., Степанова, Э. Ф., Огай, М. А., Стороженко, С. Е., Веселова, О. Ф., Морозов, Ю. А., Макиева, М. С., Морозова, Е. В., Бутенко, Л. И., Сливкин, А. И., & Беленова, А. И. (2021). Исследование сахароснижающей активности фитокомпозиций антидиабетической направленности действия. *Вестник Воронежского государственного университета. Химия. Биология. Фармация*, 4, 96-104.

- Гиёсзода, А., Степанова, Э. Ф., Стороженко, С. Е., Веселова, О. Ф., & Кищенко, В. М. (2020). Исследование фитокомпозиций антидиабетического действия из растений, произрастающих в Таджикистане. *Наука и инновация*, 4, 162-170.
- Громовая, В. Ф., Шаповал, Г. С., Миронюк, И. Е., & Нестюк, Н. В. (2008). Антиоксидантные свойства лекарственных растений. *Химико-фармацевтический журнал*, 42(1), 26-29. <https://doi.org/10.30906/0023-1134-2008-42-1-26-29>
- Дедов, И. И., Шестаков, Ю. И., & Сунцов, М. (2008). *Сахарный диабет в России: Проблемы и решения*. М.
- Дедов, И. И., Шестакова, М. В., Викулова, О. К., Железнякова, А. В., & Исаков, М. А. (2021). Эпидемиологические характеристики сахарного диабета в РФ: клинико-статистический анализ по данным федерального регистра сахарного диабета на 01.01.2021. *Сахарный диабет*, 24(3), 204-221. <https://doi.org/10.14341/dm12759>
- Джафарова, Р. Э. (2013). Изучение фармакологического действия фитокомплекса «Антидиабет» и экстрактов растительного происхождения. *Азербайджанский медицинский журнал*, 2, 110-116.
- Дмитрук, С. Е. (1990). *Биологически активные вещества лекарственных растений*. Новосибирск: Наука.
- Егоров, М. В., & Куркин, В. А. (2011). Совершенствование методов стандартизации корней солодки. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*, 13(1), 1992-1995.
- Ишакулова, Б. А., Юлдашева, У. П., & Урушева, У. П. (2013). Сравнительная характеристика некоторых сахароснижающих растений Таджикистана и синтетических сборов на их основе. *Вестник Авиценны*, 1, 121-125.
- Ишанкулова, Б. А. (2014). Сравнительная фармакология некоторых сахароснижающих растений Таджикистана. *Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение физико-математических, химических, геологических и технических наук*, 2, 70-76.
- Ишанкулова, Б. А., Юлдашева, У. П., & Урунова, М. В. (2017). Сахароснижающие свойства некоторых лекарственных растений таджикистана (в эксперименте). *Вестник КГМА им. И. К. Ахунбаева*, 5, 59-63.
- Киселева, Т. Л., & Смирнова, Ю. А. (2009). *Лекарственные растения в мировой медицинской практике: Государственное регулирование номенклатуры и качества*. М.: Профессиональной ассоциации натуротерапевтов.
- Корсун, В. Ф. (2016). *Фитотерапия против диабета*. М.: Центрполиграф.
- Нуралиева, Ж. С., & Чалданбаева, А. К. (2005). Создание комплексных лекарственных препаратов целенаправленного лечебного действия растительного происхождения. *Здоровоохранение Кыргызстана*, 1, 24-26.
- Попов, А. И., Дементьев, Ю. Н., & Шайдулина, Т. Б. (2016). Растения и сахарный диабет. *Вестник Кемеровского государственного сельскохозяйственного института*, 6, 94-102.
- Садыков, Ю. Д. (1999). Динамика накопления алколоидов в некоторых растениях Памира и фармакологическая активность выделенных соединений. В *Сборник научных статей научно-исследовательского института питания* (вып. 5, с. 76-82). Душанбе: Государственный научно-исследовательский институт питания.
- Сунцов, Ю. И., Болотская, Л. Л., Маслова, О. В., & Казаков, И. В. (2011). Эпидемиология сахарного диабета и прогноз его распространенности в Российской Федерации. *Сахарный диабет*, 14(1), 15-18. <https://doi.org/10.14341/2072-0351-6245>
- Сунцов, Ю. И., Кудрякова, С. В., & Болотская, Л. Л. (2002). Значение Государственного регистра больных сахарным диабетом в развитии диабетологической службы. *Сахарный диабет*, 5(1), 28-31. <https://doi.org/10.14341/2072-0351-5850>
- Фогт, В. П., & Степанова, Т. А. (2007). Содержание флавоноидов в противодиабетическом экстракте. *Фармация*, 4, 24-25.
- Хабибрахманова, В. Р., Халед, Ш. М., Габдрахманова, А. Р., & Сысоева, М. А. (2016). Переработка шрота корня солодки. II Тритерпеноидные и флавоноидные вещества этанольных экстрактов. *Химия растительного сырья*, 2, 97-102. <https://doi.org/10.14258/jcprpm.2016021121>
- Хин, П., & Бен, Б. О. (2011). *Сахарный диабет. Диагностика, лечение, контроль заболевания*. М.: Гэотар-Медиа.
- Чекина, Н. А., Чукаев, С. А., & Николаев, С. М. (2010). Сахарный диабет: Возможности фармакотерапии с использованием средств растительного происхождения. *Вестник Бурятского государственного университета*, 12, 71-78.
- Шарофова, М. У., Нуралиев, Ю. Н., & Сагдиева Ш. С. (2017). Особенности взаимосвязей фитохимического состава антидиабетических лекарственных растений с их лечебными свойствами. *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии*, 20(5), 41-48.

Investigation of the Phytochemical Platform of Some Plants with Antidiabetic Effect

Asomuddin Giyosoda

*Non-state educational institution "Medical College" of the M.S. Hamadoni district candidate of biological sciences
735140 Tajikistan Khatlon region R.M.C.A. Hamadoni 26 Somoni street
E-mail: asom_giysov@mail.ru*

Eleanora F. Stepanova

*Pyatigorsk Medical Pharmaceutical Institute – Branch of Volgograd State Medical University
Kalinin Ave. 11, Pyatigorsk, Stavropol Territory, 3573352, Russian Federation
E-mail: e.f.stepanova@mail.ru*

Farukh S. Sharopov

*Research Institution "Chinese-Tajik Innovation Center for Natural Products", National Academy of Sciences
Aini 299/2, Dushanbe 734063, Tajikistan,
E-mail: shfarukh@mail.ru*

Gulomkodir M. Bobizoda

*Academy of Education of Tajikistan,
126 Aini Street, Dushanbe, 734024, Republic of Tajikistan
E-mail:*

Umar A. Nazarov

*Medical College LLC 735140 Republic of Tajikistan.
Khatlon region M. S. A Hamadoni district 26 Somoni Street
E-mail: Nazarov_umar@mail.ru*

The article considers one of the aspects of the problem - the treatment and prevention of diabetes mellitus using a phytocomposition compiled on the basis of plants of the domestic flora. The components of the composition are plants growing in Tajikistan and having a reliable raw material base. And since interest in the treatment of diabetes mellitus has recently grown due to the appearance of coronavirus infection and its consequences, the relevance of this fragment is clearly expressed. And especially attractive is the fact that it is the natural composition that is being investigated for this purpose, which is also distinguished by its novelty. The proposed complex in the form of dry extracts showed hypoglycemic activity. In this regard, phytochemical studies were performed on the polyphenol complex and vitamin C, which showed a positive result. These studies were carried out using a spectrophotometer. Licorice was chosen as the dominant pharmacological indicator: at the same time, a triterpene complex with a predominance of glycyrrhizic acid was determined, affecting the antidiabetic effect, which was tested and proved, in turn, on a model of diabetes mellitus. It turned out that the content of glycyrrhizic acid in the dry extract is 6,197%. Thus, the presence in the studied phytocomposition consisting of dry extracts of licorice, galega, linden, nettle, mint, rosehip, polyphenolic complex and vitamin C was confirmed, and a significant role in this complex of licorice was noted.

Keywords: dry extracts, galega, licorice, linden, mint, rosehip, nettle, flavonoids, triterpenoids, glycyrrhizic acid, ascorbic acid, spectrophotometry.

References

Abzhalelov, B. B., Kuzhamberdieva, S. Zh., Asemov, A. B., & Mustafa, A. T. (2016). Poluchenie glitsirrinovoi

kisloty iz solodkovogo kornya [Getting glycyrrhizic acid from licorice root]. *Mezhdunarodnyi zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya [International Journal of Experimental Education]*, 5-1, 100-104.

- Anvarova, Sh. S. Novye podkhody k lecheniyu sakharnogo diabeta 2 tipa [New approaches to the treatment of type 2 diabetes]. V *Sbornik materialov NPK TGMU im. Abuali ibni Sino, posvyashch. 20-letiyu gos. nezavisimosti RT* [Collection of materials of the NPK TSMU named after Abuali ibni Sino, dedicated. 20th anniversary of the state Independence of the Republic of Tatarstan] (pp. 123-124). Dushanbe.
- Asfandiyarova, N. S. (2015). Smertnost' pri sakharnom diabete [Mortality in diabetes mellitus]. *Sakharnyi diabets [Diabetes Mellitus]*, 18(4), 12-21. <https://doi.org/10.14341/DM6846>
- Balabolkin, M. I., Nikishova, M. S., Volkova, A. K., Nedosugova, L. V., Beloyartseva, M. F., Zueva, M. V., Tsapenko, I. V., Beglyarova, A. S., & Rud'ko, I. A. (2003). Primenenie antioksidantov iz gruppy flavonoidov v lechenii diabeticheskoi retinopatii pri sakharnom diabete tipa 2 [The use of antioxidants from the flavonoid group in the treatment of diabetic retinopathy in type 2 diabetes mellitus]. *Problemy endokrinologii [Problems of Endocrinology]*, 49(3), 3-6. <https://doi.org/10.14341/probl11577>
- Chekina, N. A., Chukaev, S. A., & Nikolaev, S. M. (2010). Sakharnyi diabets: vozmozhnosti farmakoterapii s ispol'zovaniem sredstv rastitel'nogo proiskhozhdeniya [Diabetes mellitus: the possibilities of pharmacotherapy using herbal remedies]. *Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of the Buryat State University]*, 12, 71-78.
- Dedov, I. I., Shestakov, Yu. I., & Suntsov, M. (2008). *Sakharnyi diabets v Rossii: Problemy i resheniya [Diabetes mellitus in Russia: Problems and solutions]*. Moscow.
- Dedov, I. I., Shestakova, M. V., Vikulova, O. K., Zheleznyakova, A. V., & Isakov, M. A. (2021). Epidemiologicheskie kharakteristiki sakharnogo diabeta v RF: kliniko-statisticheskii analiz po dannym federal'nogo registra sakharnogo diabeta na 01.01.2021 [Epidemiological characteristics of diabetes mellitus in the Russian Federation: clinical and statistical analysis according to the Federal Register of Diabetes Mellitus as of 01.01.2021]. *Sakharnyi diabets [Diabetes Mellitus]*, 24(3), 204-221. <https://doi.org/10.14341/dm12759>
- Dmitruk, S. E. (1990). *Biologicheski aktivnye veshchestva lekarstvennykh rastenii [Biologically active substances of medicinal plants]*. Novosibirsk: Nauka.
- Dzhafarova, R. E. (2013). Izuchenie farmakologicheskogo deistviya fitokompleksa «Antidiabet» i ekstraktov rastitel'nogo proiskhozhdeniya [Study of the pharmacological action of the phytocomplex «Antidiabet» and extracts of plant origin]. *Azerbaidzhanskii meditsinskii zhurnal [Azerbaijan Medical Journal]*, 2, 110-116.
- Egorov, M. V., & Kurkin, V. A. (2011). Sovershenstvovanie metodov standartizatsii kornei solodki [Improving methods for standardizing licorice roots]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskii akademii nauk [Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]*, 13(1), 1992-1995.
- Fogt, V. P., & Stepanova, T. A. (2007). Soderzhanie flavonoidov v protivodiabeticheskom ekstrakte [Flavonoid content in antidiabetic extract]. *Farmatsiya [Pharmacy]*, 4, 24-25.
- Gieszoda, A., Stepanova, E. F., Ogai, M. A., Storozhenko, S. E., Veselova, O. F., Morozov, Yu. A., Makieva, M. S., Morozova, E. V., Butenko, L. I., Slivkin, A. I., & Belenova, A. I. (2021). Issledovanie sakharnosnizhayushchei aktivnosti fitokompozitsii antidiabeticheskoi napravlenosti deistviya [Study of hypoglycemic activity of antidiabetic phyto-compositions of action]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Khimiya. Biologiya. Farmatsiya [Bulletin of the Voronezh State University. Chemistry. Biology. Pharmacy]*, 4, 96-104.
- Gieszoda, A., Stepanova, E. F., Storozhenko, S. E., Veselova, O. F., & Kishchenko, V. M. (2020). Issledovanie fitokompozitsii antidiabeticheskogo deistviya iz rastenii, proizrastayushchikh v Tadjikistane [Research of phyto-compositions of antidiabetic action from plants growing in Tajikistan]. *Nauka i innovatsiya [Science and Innovation]*, 4, 162-170.
- Gromovaya, V. F., Shapoval, G. S., Mironyuk, I. E., & Nestyuk, N. V. (2008). Antioksidantnye svoistva lekarstvennykh rastenii [Antioxidant properties of medicinal plants]. *Khimiko-farmatsevticheskii zhurnal [Chemical and Pharmaceutical Journal]*, 42(1), 26-29. <https://doi.org/10.30906/0023-1134-2008-42-1-26-29>
- Ishakulova, B. A., Yuldasheva, U. P., & Urusheva, U. P. (2013). Sravnitel'naya kharakteristika nekotorykh sakharnosnizhayushchikh rastenii Tadjikistana i sinteticheskikh sborov na ikh osnove [Comparative characteristics of some sugar-lowering plants in Tajikistan and synthetic collections based on them]. *Vestnik Avitsenny [Avicenna Bulletin]*, 1, 121-125.
- Ishankulova, B. A. (2014). Sravnitel'naya farmakologiya nekotorykh sakharnosnizhayushchikh rastenii Tadjikistana. Izvestiya Akademii nauk Respubliki Tadjikistan [Comparative pharmacology of some sugar-lowering plants of Tajikistan]. *Otdelenie fiziko-matematicheskikh, khimicheskikh, geologicheskikh i tekhnicheskikh nauk [Proceedings of the Academy of Sciences of the Republic of Tajikistan. Department of Physical and Mathematical, Chemical, Geological and Technical Sciences]*, 2, 70-76.
- Ishankulova, B. A., Yuldasheva, U. P., & Urunova, M. V. (2017). Sakharnosnizhayushchie svoistva nekotorykh lekarstvennykh rastenii tadjikistana (v ek-

- sperimente) [Sugar-lowering properties of some medicinal plants of Tajikistan (in the experiment)]. *Vestnik KGMA im. I. K. Akhunbaeva [Bulletin of the I. K. Akhunbayev KSMU]*, 5, 59-63.
- Khabibrakhmanova, V. R., Khaled, Sh. M., Gabdrakhmanova, A. R., & Sysoeva, M. A. (2016). Pererabotka shrota kornya solodki. II Triterpenoidnye i flavonoidnye veshchestva etanol'nykh ekstraktov [Processing of licorice root meal. II Triterpenoid and flavonoid substances of ethanol extracts]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya [Chemistry of Plant Raw Material]*, 2, 97-102. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2016021121>
- Khin, P., & Ben, B. O. (2011). *Sakharnyi diabet. Diagnostika, lechenie, kontrol' zabolevaniya [Diabetes mellitus. Diagnosis, treatment, control of the disease]*. Moscow: Geotar-Media.
- Kiseleva, T. L., & Smirnova, Yu. A. (2009). *Lekarstvennye rasteniya v mirovoi meditsinskoj praktike: Gosudarstvennoe regulirovanie nomenklatury i kachestva [Medicinal plants in world medical practice: State regulation of nomenclature and quality]*. Moscow: Professional'noi assotsiatsii naturoterapevtov.
- Korsun, V. F. (2016). *Fitoterapiya protiv diabeta [Phytotherapy against diabetes]*. Moscow: Tsentrpoligraf.
- Nuralieva, Zh. S., & Chaldanbaeva, A. K. (2005). Sozdanie kompleksnykh lekarstvennykh preparatov tselenapravlennoogo lechebnogo deistviya rastitel'nogo proiskhozhdeniya [Creation of complex medicinal preparations of targeted therapeutic action of plant origin]. *Zdravookhranenie Kyrgyzstana [Healthcare of Kyrgyzstan]*, 1, 24-26.
- Popov, A. I., Dement'ev, Yu. N., & Shaidulina, T. B. (2016). Rasteniya i sakharnyi diabet [Plants and diabetes mellitus]. *Vestnik Kemerovskogo gosudarstvennogo sel'skokhozyaistvennogo institute [Bulletin of the Kemerovo State Agricultural Institute]*, 6, 94-102.
- Sadykov, Yu. D. (1999). Dinamika nakopleniya alkaloidov v nekotorykh rasteniyakh Pamira i farmakologicheskaya aktivnost' vydelennykh soedinenii [The dynamics of the accumulation of alkaloids in some plants of the Pamirs and the pharmacological activity of the isolated compounds]. In *Sbornik nauchnykh statei nauchno-issledovatel'skogo instituta pitaniya [Collection of scientific articles of the Research Institute of Nutrition]* (vol. 5, pp. 76-82). Dushanbe: Gosudarstvennyi nauchno-issledovatel'skii institut pitaniya.
- Sharofova, M. U., Nuraliev, Yu. N., & Sagdieva, Sh. S. (2017). Osobennosti vzaimosvyazei fitokhimicheskogo sostava antidiabeticheskikh lekarstvennykh rastenii s ikh lechebnymi svoistvami [Features of interrelations of phytochemical composition of antidiabetic medicinal plants with their medicinal properties]. *Voprosy biologicheskoi, meditsinskoj i farmatsevticheskoi khimii [Questions of Biological, Medical and Pharmaceutical Chemistry]*, 20(5), 41-48.
- Suntsov, Yu. I., Bolotskaya, L. L., Maslova, O. V., & Kazakov, I. V. (2011). Epidemiologiya sakharnogo diabeta i prognoz ego rasprostranennosti v Rossiiskoi Federatsii [Epidemiology of diabetes mellitus and prognosis of its prevalence in the Russian Federation]. *Sakharnyi diabet [Diabetes Mellitus]*, 14(1), 15-18. <https://doi.org/10.14341/2072-0351-6245>
- Suntsov, Yu. I., Kudryakova, S. V., & Bolotskaya, L. L. (2002). Znachenie Gosudarstvennogo registra bol'nykh sakharnym diabetom v razvitii diabetologicheskoi sluzhby [The importance of the State Register of Patients with Diabetes mellitus in the development of the diabetological service]. *Sakharnyi diabet [Diabetes Mellitus]*, 5(1), 28-31. <https://doi.org/10.14341/2072-0351-5850>

Амоксициллин и янтарная кислота: эффективные лекарственные средства для защиты здоровья животных (обзор)

Комаров Александр Анатольевич

*ФГБОУ ВО Московский государственный университет пищевых производств
Адрес: 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11
ООО «НВЦ Агроветзащита»
129329, г. Москва, Игарский пр-д, д. 4, стр. 2
E-mail: komarov.a@vetmag.ru*

Енгашев Сергей Владимирович

*ООО «НВЦ Агроветзащита»
Адрес: 129329, г. Москва, Игарский пр-д, д. 4, стр. 2
E-mail: admin@vetmag.ru*

Енгашева Екатерина Сергеевна

*ФГБОУ ВО Московский государственный университет пищевых производств
Адрес: 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11
E-mail: kengasheva@vetmag.ru*

Удавлиев Дамир Исмаилович

*ФГБОУ ВО Московский государственный университет пищевых производств
Адрес: 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11
E-mail: UdavlievDI@mgupr.ru*

Егоров Михаил Алексеевич

*ФГБОУ ВО Московский государственный университет пищевых производств
Адрес: 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11
E-mail: egorovs@gmail.com*

Уша Борис Вениаминович

*ФГБОУ ВО Московский государственный университет пищевых производств
Адрес: 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11
UshaBV@mgupr.ru*

Селимов Ренат Наилевич

*ООО «НВЦ Агроветзащита»
Адрес: 129329, г. Москва, Игарский пр-д, д. 4, стр. 2
Email: selimov.r@vetmag.ru*

Гламаздин Игорь Геннадьевич

*ФГБОУ ВО Московский государственный университет пищевых производств
Адрес: 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11
E-mail: Glamazdin@mgupr.ru*

Обеспечение активно развивающегося в последние годы отечественного животноводства и птицеводства эффективными и недорогими лекарственными средствами для животных, в том числе, и для увеличения конкурентоспособности отечественной продукции при экспорте за счет повышения рентабельности производства и снижения затрат на ветеринарно-санитарные мероприятия является одним из приоритетных задач направления

Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации. Одной из ключевых задач для создания безопасных и качественных продуктов питания является разработка, производство и рациональное применение эффективных и безопасных средств защиты здоровья сельскохозяйственных животных. Обзор посвящен обоснованию разработки инновационных средств защиты здоровья сельскохозяйственных животных за счет использования антибиотика амоксициллина в комбинации с янтарной кислотой. В обзоре дана характеристика фармакологических свойства пенициллиновых антибиотиков и, в частности, амоксициллина. Приведены сведения о проблемах устойчивости микроорганизмов к антибиотикам, вызванных формированием биопленок. Приведены сведения о веществах, не проявляющих антибиотические свойства, но способных усиливать подавляющее действие антибиотиков. Показана целесообразность поиска новых комбинаций антибиотиков со вспомогательными веществами, способствующими растворению биопленок и таким образом увеличивающими эффективность воздействия антибиотиков на целевые микроорганизмы.

Ключевые слова: амоксициллин, янтарная кислота, лекарственные средства, сельскохозяйственные животные

Введение

Преобладание в настоящее время на рынке дорогих и не всегда качественных импортных химико-фармацевтических лекарственных средств для ветеринарного применения не только снижает продовольственную безопасность страны, но и препятствует расширению экспорта продукции животноводства из-за неблагоприятного влияния на рентабельность предприятий и стоимость продукции.

Внедрение и широкое применение противомикробных препаратов для лечения животных способствовало улучшению их здоровья, увеличению продуктивности, повышению безопасности продукции животноводства, экономическому росту в сельскохозяйственном секторе и, в конечном итоге, обеспечению пищевой безопасности государства (Панин и др., 2017; Овчарова & Петраков, 2018; Шкиль, 2020). Однако, достижения современной медицины и животноводства, связанные с открытием, разработкой и широким применением противомикробных препаратов находятся под угрозой из-за появления глобальной устойчивости микроорганизмов к противомикробным препаратам. При сохранении существующих темпов роста антибиотикорезистентности к 2050 году ежегодная смертность от болезней, вызванных резистентными микроорганизмами, может составить около 10 млн. человек и спровоцировать 10-процентное снижение производства в секторе животноводства в странах с низким уровнем дохода (Магнуссон и др., 2019).

Тем не менее, на сегодняшний день и в ближайшей перспективе реальная альтернатива антимикробным препаратам для борьбы с инфекционными заболеваниями животных и профилактики пищевых токсикоинфекций отсутствует. Поэтому, рациональное применение антибиотиков в сельском хозяйстве для сдерживания распростране-

ния антибиотикорезистентности возможно при выполнении следующих условий: исключение возможности введения животным избыточных доз антибиотиков и использования их в качестве стимуляторов роста; снижение потребления антибиотиков в животноводстве и борьба с антибиотикорезистентностью микроорганизмов за счет поиска комбинаций антибиотиков с веществами, усиливающими их действие; разумное использование в ветеринарии эффективных антибиотиков, которые не имеют критического значения для медицины с учетом рекомендаций международных организаций в области здравоохранения (Beloeil, 2011; Михалёва и др., 2019).

Перспективность разработки лекарственных средств ветеринарного назначения на основе амоксициллина обусловлена широким спектром бактерицидного действия в отношении аэробных грамположительных и грамотрицательных бактерий, хорошей растворимостью, биодоступностью, быстрой абсорбцией из желудочно-кишечного тракта, на которую не оказывает влияние прием пищи, высокой устойчивостью к желудочному соку, что позволяет эффективно использовать его не только в инъекционных, но и оральных лекарственных формах.

Восприимчивость бактерий к антибиотикам серьезно снижается, когда бактериальные клетки формируют так называемые биопленки – устойчивые колонии-конгломераты, окруженные внеклеточным полимерным веществом (Percival et al., 2011; Зинченко, 2016; Гренкова и др., 2014; Лагун & Жаворонок, 2013; Винник и др., 2010; Тризна и др., 2020). Плотная структура колоний клеток в биопленках и наличие покрывающей их полимерной матрицы существенно осложняет контакт антибиотиков с бактериальными клетками. Из-за этого устойчивость бактерий к антимикробным препаратам в биопленках гораздо выше по сравнению с одиночными бактериями. Поэтому инфекции, сопряженные с образованием возбу-

дителями биопленок, гораздо труднее поддаются лечению антибиотиками и часто становятся рецидивирующими (Плакунов и др., 2017; Бунтовская и др., 2017).

Ввиду затруднений, возникающих при лечении инфекционных заболеваний животных из-за формирования биопленок, представляется целесообразным систематизировать имеющиеся научные материалы, которые могут послужить основой для поиска новых комбинаций антибиотиков со вспомогательными веществами, способствующими растворению биопленок и таким образом увеличивающими эффективность воздействия антибиотиков на целевые микроорганизмы. Целью нашего обзора является обоснование разработки инновационных средств защиты здоровья сельскохозяйственных животных за счет использования невысоких доз антибиотика амоксициллина в комбинации с янтарной кислотой.

Материалы и методы исследования

Материалы

В обзор были включены: статьи, опубликованные на русском и английском языках в периодических научных изданиях, материалы конференций, сборники научных трудов, монографии, отчеты и рекомендации международных организаций. Поиск был ограничен периодом с 1976 по 2021 год; дата начала соответствует времени, когда проблемы антибиотикорезистентности микроорганизмов начали выноситься на широкое обсуждение. В центре внимания были статьи, опубликованные в научных журналах, прошедшие процедуру рецензирования, подтверждающую их качество. При этом статьи должны были иметь заданный индекс цитирования (процитированы в базах данных не менее 10 раз). Поиск материалов осуществлялся среди исследований в области ветеринарии, медицины и микробиологии.

Методология

На первом этапе исследования производился поиск научных статей в электронных базах данных. Первичное сканирование баз данных: DBLP, Google Scholar, ISI Proceedings, JSTOR Search, Medline, Scopus, Web of Science помогло выявить при помощи ключевых слов «антибиотикорезистентность», «биопленки», «амоксициллин», «янтарная кислота» ряд исследований с заданным индексом цитирования (цитируется более 10 раз).

Далее источники были ранжированы в рамках исследуемого временного промежутка (1976-2021 г.). На следующем этапе нами были проанализированы пристатейные списки литературы в выделенных нами для анализа статьях с целью поиска цитируемых сборников научных трудов ведущих НИИ таких как Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии имени К. И. Скрябина и Я. Р. Коваленко Российской академии наук» (ФГБНУ ФНЦ ВИЭВ РАН), Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М.Горбатова» Российской Академии Наук, Библиотечно-информационный центр ФГБОУ ВО «МГУПП», материалы научной библиотеки Всероссийского научно-исследовательского института ветеринарной санитарии, гигиены и экологии — филиал ФГБНУ ФНЦ ВИЭВ РАН, Российской государственной библиотеки (ФГБУ РГБ), научных отчетов международных организаций. Далее нами были проанализированы материалы профильных конференций за указанный период времени. Подбор материалов конференций реализовывался по тем же ключевым словам, которые были использованы для поиска в электронных базах данных. В результате этого итеративного поиска было выделено 159 исследований. Далее из выделенных работ осуществлялся отсев источников, не отвечающих изучаемой тематике, на основе названий и тезисов. Из оставшихся работ далее осуществлялся выбор источников, отвечающих изучаемой тематике, на основе полных текстов. По итогам отбора материалов, для формирования обзора было использовано 77 источников.

Результаты и их обсуждение

Характеристика антибиотиков пенициллиновой группы

В соответствии с новейшей классификацией ветеринарных антибиотиков, изданной Европейским агентством по лекарственным средствам в 2020 г., к числу антибиотиков, представляющих наименьший риск (группа D) применения в животноводстве с точки зрения нанесения вреда здравоохранению, относятся антибиотики пенициллиновой группы. Антибиотики этой группы рекомендуется использовать в качестве препаратов первой линии для лечения животных (Европейское региональное бюро ВОЗ, 2020). Среди антибиотиков этой группы, наибольший интерес представляет амоксициллин, в

виду его широкой терапевтической эффективности в отношении множества возбудителей инфекционных заболеваний животных. Этот антибиотик возможно применять не только в инъекционных (для лечения заболеваний крупного рогатого скота и свиней), но и оральных формах в виде термостабильных гранул для применения с кормами и водорастворимого порошка (с питьевой водой) в индустриальном свиноводстве и промышленном птицеводстве (Немцова и др., 2020; Форман, 2018; Таран, 2014; Радюк, 2018; Назарова и др., 2019; Мелихов & Родионов, 2012; Щепеткина, 2017; Школьников и др., 2014; Оробец, 2016; Субботин & Данилевская, 2011).

По данным Всемирной организации здравоохранения животных в 93 странах мира антибиотики пенициллинового ряда составляли более 16% от всего объема химико-фармацевтических лекарственных средств, применяемых в животноводстве (Góchez et al., 2020). По этому показателю они находятся на 2 месте и уступают только тетрациклинам (35%). В странах Европы этот показатель еще выше и составляет почти 24%. Пенициллины составляют подавляющее большинство лекарственных средств, применяемых в ветеринарии в инъекционных лекарственных формах (69%).

Лекарственные формы на основе бета-лактамов являются одними из самых распространенных при борьбе с большинством возбудителей инфекционных заболеваний в связи с тем, что такие препараты хорошо распределяются по всем органам и тканям организма. Такие препаративные формы отличаются низкой себестоимостью и относительно низкой токсичностью для макроорганизма. С момента открытия пенициллина и до начала 70-х годов прошлого столетия эта молекула перетерпела несколько модификаций итогом которых стало создание в 1972 году амоксициллина. В сравнении с первоначальным образцом эта форма была с гораздо выраженной бактерицидной активностью и несравненными фармакокинетическими показателями. Амоксициллин и в наши дни широко применяется как в медицинской практике, так и в ветеринарии.

Со временем основной проблемой всех антибиотиков стало появление устойчивости к ним микроорганизмов о которой впервые сообще-

ли Abracham и Chain в своих статьях. Изучив процесс инактивации пенициллина в экстракте клеток культуры *E.coli* они описали феномен *E.coli* продуцировать ферменты β-лактамазы. Эти ферменты оказались способны осуществлять гидролиз β-лактамового кольца который в свою очередь является основой пенициллина. (Poole, 2004). В настоящее время науке известно более 1000 β-лактамаз. Другая проблема, которая постигла медицину и ветеринарию это развитие и появление панрезистентных микроорганизмов, т.е. микроорганизмов вырабатывающих устойчивость ко всем видам антибиотиков. (MacDougall, 2008). В этой связи Всемирная организация здравоохранения вынуждена была составить список антибиотикоустойчивых микроорганизмов состоящий из 12 видов бактерий в который вошли *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterobacteriaceae*, *Enterococcus faecium*, *Staphylococcus aureus*, *Helicobacter pylori*, *Campylobacter spp.*, *Salmonellae*, *Neisseria gonorrhoeae*, *Streptococcus pneumoniae*, *Haemophilus influenzae*, *Shigella spp.*¹, для борьбы с которыми необходимы новые антибиотики или новые композиционные решения. Трудность решения этой задачи заключается в том, в настоящее время создание новых антибиотиков замедлилось и основной упор делается на создание композиционных препаратов и разработке специфических схем лечения тех или иных заболеваний.²

Амоксициллин - спектр антимикробной активности

Амоксициллин полусинтетический антибиотик широкого антимикробного спектра действия, относящийся к группе пенициллинов. Активен в отношении грамположительных и грамотрицательных микроорганизмов, в том числе *Escherichia coli*, *Salmonella spp.*, *Pasteurella spp.*, *Clostridium spp.*, *Staphylococcus spp.*, *Streptococcus spp.*, *Haemophilus spp.*, *Corynebacterium spp.*, *Actinomyces spp.*, *Bacillus anthracis*, *Erysipelothrix rhusiopathiae*, *Listeria monocytogenes*, *Pasteurella spp.*, *Proteus mirabilis*, *Leptospira spp.*, *Moraxella spp.*, *Actinobacillus spp.* (Стецко, 2014; Хлопицкий и др., 2018; Козлов и др., 2010; Иванов и др., 2020; Хлопицкий и др., 2018). Для ветеринарных целей выпускается в виде 15% раствора амоксициллина тригидрата который хорошо всасывается и быстро распределяется по всему организму достигая оптимальной концентрации

¹ WHO publishes list of bacteria for which new antibiotics are urgently needed. <https://www.who.int/ru/news/item/27-02-2017-who-publishes-list-of-bacteria-for-which-new-antibiotics-are-urgently-needed>

² Краткие алгоритмы ведения пациентов на этапе оказания первичной медико-санитарной помощи. <https://org.gnicpm.ru/wp-content/uploads/2020/03/kratkie-algoritmy-poslednie.pdf>

в крови животного через 1-2 часа после введения, сохраняя высокий терапевтический уровень в течение двух суток.³ Выводится антибиотик из организма с мочой и фекалиями в основном в неизменной форме (Mlynek et al., 2016; Bedi et al., 2009; Yonezawa et al., 2019; Sedlacek & Walker, 2007; Astasov-Frauenhoffer et al., 2014; Larsen, 2002; Soares et al., 2015; del Prado et al., 2010; Waack & Nicholson, 2018). Механизм действия, как и у многих пенициллинов, заключается в нарушении синтеза мукопротеида входящего в состав клеточной мембраны микроорганизмов путем ингибирования ферментов транспептидазы и карбоксипептидазы, что приводит к нарушению осмотического баланса и разрушению бактериальной клетки (Тризна и др., 2020). Амоксициллин 15% применяют для лечения крупного и мелкого рогатого скота, свиней, собак и кошек при инфекционных заболеваниях респираторного тракта (ринит, пневмония, бронхопневмония), желудочно-кишечного тракта (диарея, энтериты, колибактериоз, сальмонеллез) и органов мочеполовой системы (цистит, эндометрит, метрит, вагинит, лептоспироз), маститах, поражениях кожи, мягких тканей и копыт (некробактериоз, артрит, абсцесс), а также для профилактики хирургических послеоперационных инфекций, вызванных микроорганизмами, чувствительными к амоксициллину⁴. Следует отметить, что некоторые микроорганизмы не чувствительны к амоксициллину к ним относятся *Serratia spp.*, *Enterobacter spp.*, *Morganella morganii*, *Pseudomonas spp.*, *Rickettsiaceae*, *индолположительные штаммы Proteus (Proteus vulgaris, Proteus rettgeri)* и вирусы. К амоксициллину не чувствительны и микоплазмы. Учитывая высокую эффективность амоксициллина, широкий спектр действия, низкую токсичность и доступность по цене, в настоящее время объективной альтернативы данному антибиотику в ветеринарии нет. Однако, описанная выше проблема глобальной устойчивости микроорганизмов к противомикробным препаратам, которая обусловлена тем, что количество устойчивых штаммов бактерий неуклонно растет и повсеместное использование в высоких дозах антибиотиков, в том числе амоксициллина, только ускоряет ее развитие. Причем это касается не только микроорганизмов, факультативно присутствующих в организме животных, но и штаммов, находящихся в окружающей среде. Более того, применение антибиотиков продуктивным животным неотвратимо сопровождается попаданием их остаточных количеств в пищевые

продукты, что, в свою очередь, может провоцировать антибиотикорезистентность у факультативных микроорганизмов (Музыка & Белецкая, 2020; Жумагалиева & Аргумбаева, 2019).

Биопленки - проблема в лечении многих хронических заболеваний

Основная проблема в лечении многих хронических заболеваний у животных связана с формированием в организме биопленок (Hoiby et al., 2010; Costerton, 2001; Чеботарь и др., 2012; Гостев & Сидоренко, 2014; Вознесенский, 2008; Романова, 2011). Со времен Роберта Коха, когда он впервые разработал метод чистой культуры, который и в наши дни широко используется в микробиологии, многое изменилось. Рост свободно плавающих бактерий в питательной среде существенно отличается от жизни микроорганизмов в естественных условиях. Бактериальные популяции в естественной среде представляют собой фиксированные сообщества микроорганизмов, внедренные в синтезированный ими же полимерный пласт - биопленку. Такая форма существования предоставляет бактериям массу преимуществ в условиях воздействия неблагоприятных факторов внешней среды и организма-хозяина. Представления о биопленках, подтвержденные с помощью современных методов визуализации, изменили взгляды на инфекционные заболевания. Все новые данные свидетельствуют о том, что хронические инфекции принципиально отличаются от острых, а существование биопленок при хронических инфекциях требует совершенно новых подходов к их диагностике и лечению (Wolcott & Ehrlich, 2008).

Биопленка – это форма жизни, в которой живут бактерии (Ленченко & Блюменкранц, 2020; Rossi et al., 2017; Ahmadi et al., 2017). Все больше накапливается доказательств, что выделенная чистая культура бактерий совпадает с биопленкой только по небольшому числу свойств. Когда бактерии переходят от планктонного фенотипа к формированию биопленки, процессы их биосинтеза радикально меняются. Клетки начинают синтезировать полимеры, защищающие их и связывающие между собой и с подлежащей поверхностью. Кроме того, клетки (даже разных видов) обмениваются между собой информацией с помощью феромонов и других сигнальных молекул.⁵ Биопленки могут быть в разы более устойчивы к противомикроб-

³ Амоксициллин (*Amoxicillinum*). https://www.rlsnet.ru/mnn_index_id_1339.htm

⁴ Амоксициллин для животных. <https://veterinarka.ru/vetmedicaments/amoxicillin.html>

⁵ Биопленки – терапевтическая мишень при хронических инфекциях. <https://medi.ru/info/9938/>

ным препаратам, чем отдельные бактерии в планктонном состоянии (Hoiby et al., 2010; Stewart & Costerton, 2001; Бехало и др., 2010; Costerton et al., 1999; Peeters et al., 2008). Биопленки способны формироваться в организме животных, прикрепляясь к поверхностям слизистых оболочек. В частности, формирование биопленок бактерий происходит в легких (Ross, 2006; Moraes et al., 2014; Boukahil & Czuprynski, 2016), в желудочно-кишечном тракте (Ленченко & Блюменкранц, 2020, Rossi et al., 2017), мочеполовой системе (Ahmadi et al., 2017), других органах животных (Капай & Кугелев, 2020; Муллаярова, 2021; Oliveira et al., 2007; Melchior et al., 2009). Исследованиями (Lenchenko & Blumenkrants, 2020) при изучении морфологии патогенных микроорганизмов, выделенных при дисбактериозах кишечника у ягнят и цыплят, выявлены общие закономерности формирования биопленок микроорганизмов различных систематических групп. Количественные и качественные изменения микрофлоры кишечника при дисбактериозе характеризовались повышением колонизационного и персистентного потенциала энтеробактерий, стафилококков, микроскопических грибов. Эпизодические штаммы продуцировали адгезивные антигены, бактериоцины, гемолизины, термолабильные и термостабильные токсины, β -лактамазы расширенного спектра (Ленченко & Блюменкранц, 2020). Биопленки крайне негативно влияют на течение инфекционного процесса, из-за склонности к хронизации и рецидивирующему течению инфекционного процесса, низкой эффективности антибиотикотерапии. Представление о биопленках изменяет подходы к разработке новых лекарственных форм антибиотиков для применения их в самых различных областях ветеринарии и медицины.

Разработка эффективных лекарственных форм

Учитывая вышеприведенные факты, особую актуальность обретает разработка наиболее эффективных лекарственных форм препаратов для животноводства, содержащих в качестве основного действующего вещества амоксициллин, применение которых будет способствовать снижению распространения антибиотикорезистентности и исключая использование высоких доз антибиотика.

При разработке лекарственных форм необходимо учитывать несколько основных моментов. Это теоретические основы создания лекарственного

средства, прогнозирование свойств фармакологических веществ, фармацевтическую разработку лекарственного препарата (фармацевтическая разработка – включает в себя комплексные экспериментальные исследования, в рамках которых осуществляется обоснование состава, этапов технологического процесса, условий производства для дальнейшего включения этой информации в регистрационное досье⁶), системную организацию технологических документов при производстве лекарственных средств, методологию переноса технологий и многое другое. Фармацевтическая разработка (ФР) является важнейшим этапом жизненного цикла лекарственных средств. Согласно современным положениям, принятым в странах с развитой фармацевтической индустрией, ФР призвана реализовывать принципы спланированного качества.

Различные аспекты фармацевтической разработки рассматриваются документами, принятыми международными организациями. Основными из них являются:

- ICH Q8 Фармацевтическая разработка – методическое руководство (Pharmaceutical Development, Part I, Part II).
- Quality by Design (QbD) – Качество путем разработки, документ, отражающий принципы спланированного качества, системный подход к разработке, основанный на надёжных научных данных.
- ICH Q9 Управление рисками для качества (Quality Risk Management).

Методические указания по проведению фармацевтической разработки содержат документ, принятый Международной конференцией по гармонизации технических требований к регистрации лекарственных средств для человека, – ICH Q8, отражающий этапы, наполнение, логику и требования. Согласно этому документу спланированное качество, или качество путем разработки, обеспечивает «системный подход к разработке, основанный на надёжных научных данных и управлении рисками для качества продукции, который начинается с определения целей и уделяет особое внимание пониманию продукта и технологического процесса, а также контролю последнего».

Только с позиций спланированного качества ФР будет являться своеобразным гарантом произ-

⁶ Разработка лекарственных форм. <https://doclinika.ru/tehnologiya-i-farmakokinetika/>

водства качественных, эффективных и безопасных лекарственных препаратов.

Разработка фармацевтических препаратов – чрезвычайно ресурсоёмкий процесс, требующий многолетней работы различных ученых-исследователей. Разноплановость подходов к разработке обусловлена многостадийностью данного процесса.

Процесс создания, изучения (доклинического и клинического) новых лекарственных средств объединяет специалистов из разных областей: ученых (научных сотрудников) – авторов разработки; врачей-клиницистов, имеющих опыт проведения клинических исследований; специалистов по био-медицинской информатике и статистике; менеджеров проекта и экономистов; представителей фармацевтической и медицинской промышленности: технологов, инженеров, специалистов в области обеспечения и контроля качества, специалистов по медицинской безопасности и информации, специалистов по мониторингу клинических исследований, специалистов по регуляторным вопросам и др.⁷

Химические соединения усиливающие восприимчивость микроорганизмов к антибактериальным средствам

Для снижения антибиотикоустойчивости микроорганизмов, которая с каждым годом становится всё более распространенной, предпринимаются не малые усилия и предлагаются различные подходы. Один из них использование антибиотиков в комплексе с веществами (компонентами) усиливающими те или иные факторы, обуславливающие действие антибиотиков. Основными направлениями исследований были поиск ингибиторов β-лактамаз которые в сочетании с бета-лактамами антибиотиками оказывали бы желаемый эффект. Первый ингибитор был обнаружен еще в 1974-75 годах в Великобритании – это клавулановая кислота. Её вырабатывают *Streptomyces clavuligerus* и химически представляет собой бициклический бета-лактам. В настоящее время в клинической практике всё чаще используют сульбактам, тазобактам и клавулановую кислоту. В 1981 году появился первый комбинированный препарат содержащий в своем составе амоксициллин и клавулановую кислоту. Синергизм этих компонентов проявлялся в выраженной бактерицидности по отношению к *S.aureus*, *H.influenzae*, *M. catarrhalis*, *B.fragilis*, *E.coli*

у которых синтез β-лактамаз является основным механизмом резистентности.

Клавулановая кислота⁸

Кислота впервые была обнаружена британскими учеными - сотрудниками фармакологической компании Beecham. Позже к 1985 г. патенты на это соединение были выданы в США. Химически это соединение представляет собой не содержащий пенициллиновое ядро бициклический бета-лактам активное по отношению к стафилококкам, нейссериям, стрептококкам, легионеллам и хламидиям, но в качестве отдельного антибиотика не используется. Клавулановая кислота приобрела широкую известность благодаря способности ингибировать β-лактамазы. Клавулановую кислоту используют в композиции с β-лактамами антибиотиками (пенициллины, цефалоспорины, карбапенемы и монобактамы) для лечения менингитов, эндокардитов, сепсиса, бронхиты, пневмонии, перитониты, инфекции кожи, инфекции мочевыводящих путей и половой системы, бактериальных заболеваний почек и др. Наиболее известный комбинированный препарат это «Амоксиклав». Этот препарат широко используется в ветеринарии для лечения различных заболеваний овец, свиней, крупного рогатого скота, птицы и инфекции мелких домашних животных. Клавулановая кислота не взаимодействует соками желудочно-кишечного тракта, поэтому препараты с ней используются и перорально, она в ЖКТ всасывается и быстро выводится с мочой. Клавулановая кислота имеет сравнительно не большую токсичность для млекопитающих ЛД₅₀ для крыс превышает 2000 мг/кг, не проявляет генотоксичных и канцерогенных свойств, может проявлять влияние на репродуктивную способность. МДУ в странах ЕАЭС и России не установлены.

Янтарная кислота

Разработка новых лекарственных форм препаратов с амоксициллином, в которых будут использоваться компоненты, которые сами по себе не являются антибиотиками, но усиливают восприимчивость микроорганизмов к антибактериальным средствам. Таким компонентом является янтарная кислота. Янтарная кислота не является ксенобиотиком, то есть является естественным компонентом живых клеток. Янтарная кислота является внутриклеточным метаболитом, ши-

⁷ Промышленная фармация. Путь создания продукта. <https://studfile.net/preview/14015259/>

⁸ Клавулановая кислота (2R,5R,Z)-3-(2-гидроксиэтилидене)-7-оксо-4-окса-1-аза-бицикло(3.2.0)гептане-2-карбоксилат

роко участвующим в метаболических процессах организма в качестве субстрата окислительного фосфорилирования в митохондриальном цикле трикарбоновых кислот. Янтарная кислота является ингибитором свободно-радикальных процессов перекисного окисления липидов, оказывает положительное влияние на физико-химические свойства мембран клеток, обладает антигипоксическим эффектом. Благодаря своим антиоксидантным свойствам, янтарная кислота обладает широким спектром фармакологических эффектов и оказывает влияние на ключевые звенья патогенеза различных заболеваний, связанных с процессами свободнорадикального окисления, включая: иммунодефициты, инфекционные и паразитарные заболевания (82-87).

Янтарная кислота уже несколько десятилетий применяется как лекарственное средство. Наиболее известные препараты «Мексикор», «Риамберин», Ремаксол», «Цитофлавин», «Лимонар» и другие используются в качестве антиоксидантов и способностью изменять физико-химические свойства клеточных мембран, активность мембрано-связанных ферментов, и модифицировать таким образом транспортную и метаболическую функцию клеточных мембран (Смирнов & Дюмаев, 1982). «Риамберин», в состав которого входит меглюмина натрия сукцинат являющийся активной транспортной формой янтарной кислоты, обладающий антиоксидантными и антигипоксическими свойствами рекомендуется при лечении тяжелой формы пневмонии сопровождающейся гипоксией тканей и выраженной интоксикацией на фоне вторичного иммунодефицита. Одной из проявлений острых нагноений легких и плевры являются эндотоксикоз и гипоксия, проявляющаяся в виде респираторной, гемической, гемодинамической и тканевой форме. Использование в терапии таких тяжелых форм меглюмина натрия сукцинат или других препаратов на основе янтарной кислоты способствует уменьшению гнойной интоксикации и купированию синдрома системной воспалительной реакции, сокращению сроков выздоровления больного. В практике лечения различных дерматозов «Риамберин» показал себя как эффективное дополнение базисной терапии при обострении некоторых дерматологических заболеваний (псориаза), ведущую роль при этом видимо играет антиоксидантное действие меглюмина натрия сукцинат. (Трофимова и др., 2004)

Лекарственные средства, содержащие янтарную кислоту относятся к препаратам метаболического действия и широко применяются в медицине и ветеринарии (Поздняков и др., 2020; Галенко-Я-

рошевский и др., 2001; Галенко-Ярошевский и др., 2012; Мазур и др., 2007; Новиков & Левченко, 2013; Шахмарданова и др., 2016; Некрасова & Рыжкова, 2018; Миклашевская, 2020; Воробьева & Попов, 2020; Попов, 2020; Сеин & Керимов, 2020). Янтарную кислоту можно применять в сочетании с другими веществами, поддерживающими метаболизм для усиления их действия. Например, показано, что использование янтарной кислоты в сочетании с глюкозой и пропиленгликолем снижает последствия интоксикации организма при действии некоторых отравляющих веществ и свободных радикалов, восполняет недостаток углеводов и энергии у животных в период вынашивания плода (Галенко-Ярошевский и др., 2001; Некрасова & Рыжкова, 2018; Antipov et al., 2021). Кроме того доказано, что при использовании янтарной кислоты происходит уменьшение дозы колистина, при использовании его против *Escherichia coli*, устойчивой к бета-лактамам антибиотикам за счет наличия фермента металло-β-лактамазы (Kumar et al., 2018).

Однако до настоящего времени, не известно о разработке у нас в стране и за рубежом и выпуске в промышленных масштабах химико-фармацевтических лекарственных средств для ветеринарии, в которых янтарная кислота используется в качестве компонента, усиливающего антибактериальное действие антибиотиков. Основанием для обоснования актуальности и принципиальной возможности разработки таких препаратов явилось появление в последние годы научных работ, в которых авторы показывают, что янтарная кислота может усиливать антибактериальное действие антибиотиков. Показано, что добавление янтарной кислоты существенно повышало чувствительность таких распространенных микроорганизмов, как *Escherichia coli*, *Vibrio alginolyticus*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Edwardsiella sluggish*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Streptococcus*, к ампициллину, который относится к подгруппе аминопенициллинов, как и амоксициллин. Показана способность янтарной кислоты увеличивать эффективность и других антибиотиков, в том числе: гентамицина, тетрациклина, эритромицина, клиндамицина и рифампицина в отношении *E. coli* (Миклашевская, 2020). Эффект обусловлен повышением проницаемости мембран бактериальных клеток для антибиотиков за счет механизма увеличения «протонной движущей силы» (Li et al., 2019).

Продемонстрировано усиление антибактериального действия колистина, тобрамицина и ципрофлоксацина в присутствии янтарной кислоты в

отношении синегнойной палочки (*Pseudomonas aeruginosa*) - возбудителя нозокомиальных инфекций, который образует биопленки, что делает его особенно устойчивым даже к большим дозам антибиотиков (Ross & Fiegel, 2012; Bahamondez-Canas & Smyth, 2018; Silva et al., 2020).

Выводы

По результатам, полученным при составлении обзора и приведенным данным можно сделать следующие выводы:

Препараты пенициллиновой группы не смотря на то что их производство было освоено несколько десятилетий назад широко используются в медицинской и ветеринарной практике для борьбы с резистентностью микроорганизмов в настоящее время широко с успехом используется клавулановая кислота в композиции с β -лактамами антибиотиками.

Янтарная кислота нашла широкое эффективное применение во многих областях медицины и ветеринарии. Использование янтарной кислоты является патогенетически обоснованным и достаточно эффективным средством как в составе композиционных препаратов, так и при использовании её в качестве дополнительного компонента в схеме лечения того или иного заболевания.

Проведенный обзор несомненно подтверждает актуальность разработки и внедрения в производство инновационных средств защиты здоровья сельскохозяйственных животных, содержащих в своем составе не только амоксициллин - высокоэффективный, недорогой антибиотик широкого спектра действия, но и янтарную кислоту, которая будет способствовать усилению его антибактериального действия, в том числе. и в отношении антибиотикорезистентных микроорганизмов, способных образовывать биопленки.

Финансирование

Соглашение между Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России) и ООО «НВЦ Агроветзащита С-П.» о предоставлении из федерального бюджета субсидии на развитие кооперации российской образовательной организации высшего образования и организации реального сектора экономики в целях реализации комплексного проекта по созданию высокотехнологичного производства «Раз-

работка инновационных средств защиты здоровья сельскохозяйственных животных и внедрение их в производство», выполняемого с участием Московского государственного университета пищевых производств (ФГБОУ ВО «МГУПП») от «14» декабря 2020 г. № 075-11-2020-033.

Литература

- Бехало, В. А., Бондаренко, В. М., Сысолятина, Е. В., & Нагурская, Е. В. (2010). Иммунобиологические особенности бактериальных клеток медицинских биопленок. *Микробиология*, 4, 97-105.
- Бунтовская, А. С., Нагибович, О. А., Пелешок, С. А., Болехан, В. Н., Протасов, О. В., Астанина, А. К., Жемидов, Д. М., & Иванов, И. А. (2017). Проблема биопленок в медицине. В *Инновации в медицинской, фармацевтической, ветеринарной экологической микробиологии: Материалы Всероссийской научно-практической конференции* (с. 119-120). Санкт-Петербург: Человек и его здоровье.
- Винник, Ю. С., Перьянова, О. В., Онзуль, Е. В., & Теплякова, О. В. (2010). Микробные биопленки в хирургии: Механизмы образования, лекарственная устойчивость, пути решения проблемы. *Новости хирургии*, 6, 115-125.
- Вознесенский, Н. А. (2008). Биопленки терапевтическая мишень при хронических инфекциях. *Практическая пульмонология*, 3, 43-44.
- Воробьева, Н. В., & Попов, В. С. (2020). Новая кормовая добавка повышает продуктивность у животных. В *Перспективы развития отрасли и предприятий АПК: Отечественный и международный опыт: Материалы Международной научно-практической конференции* (с. 58-61). Омск: Омский государственный аграрный университет имени П. А. Столыпина.
- Галенко-Ярошевский, П. А., Сапронов, Н. С., Канорский, С. Г., & Михин, В. П. (2012). *Антиангинальные средства: Физиологическая и молекулярная фармакология, стратегия и тактика клинического применения*. Краснодар: Просвещение-Юг.
- Галенко-Ярошевский, П. А., Чекман, И. С., & Горчакова, Н. А. (2001). *Очерки фармакологии средств метаболической терапии*. М.: Медицина.
- Гостев, В. В., & Сидоренко, С. В. (2014). Бактериальные биопленки и инфекции. *Журнал инфектологии*, 2, 4-15.
- Гренкова, Т. А., Селькова, Е. П., Гусарова, М. П., Ершова, О. Н., Александрова, И. А., Сазыкина, С. Ю., & Курдюмова, Н. В. (2014). Контроль за устойчивостью микроорганизмов к анти-

- биотикам, антисептикам и дезинфицирующим средствам. *Эпидемиология и вакцинопрофилактика*, 1, 29-33.
- Жумагалиева, Г. К., & Аргумбаева, М. С. (2019). Антибиотики в пищевой продукции. *Апробация*, 1, 11-14.
- Зинченко, А. И. (2016). Биопленки микроорганизмов и методы борьбы с ними. В *Микробные биотехнологии: Фундаментальные и прикладные аспекты: Сборник научных трудов* (с. 334-352). Минск: Белорусская наука.
- Иванов, Н. П., Сущих, В. Ю., & Мыктыбаева, Р. Ж. (2020). Изучение ингибирующей активности молочнокислых бактерий и антибактериальных препаратов к возбудителю некробактериоза и сопутствующей микрофлоре. В *Современные вызовы для биотехнологии, ветеринарии и медицины: Материалы Международной научно-практической конференции* (с. 73-79). Гвардейск: Научно-исследовательский институт проблем биологической безопасности.
- Капай, Н. А., & Кугелев, И. М. (2020). Эффективность разных антибактериальных препаратов при лечении респираторных заболеваний свиней. *Эффективное животноводство*, 8, 34-36.
- Козлов, Р. С., Сивая, О. В., Кречикова, О. И., Иванчик, Н. В., & Щетинин, Е. В. (2010). Динамика резистентности *Streptococcus pneumoniae* к антибиотикам в России за период 1999-2009 гг. (Результаты многоцентрового проспективного исследования ПеГАС). *Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия*, 4, 329-341.
- Лагун, Л. В., & Жаворонок, С. В. (2013). Бактериальные биопленки и их роль в развитии инфекций мочевыводящих путей. *Медицинский журнал*, 4, 21-27.
- Ленченко, Е. М., & Блюменкранц, Д. А. (2020). Изучение биопленок энтеробактерий, образующихся при болезнях органов пищеварения животных. *Ветеринария*, 1, 25-29. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2020.23.1.25-29>
- Магнуссон, У., Стернберг, С., Эклунд, Г., & Розстальский, А. (2019). *Рациональное и эффективное применение противомикробных препаратов в свиноводстве и птицеводстве. Служба животноводства и здоровья животных ФАО. Руководство 23*. Рим: ФАО.
- Мазур, И. А., Чекман, И. С., Беленичев, И. Ф., Волошин, Н. А., Горчакова, Н. А., & Кучеренко, Л. И. (2007). *Метаболитотропные препараты*. Запорожье.
- Мелихов, С. В., & Родионов, В. Н. (2012). Применение комплексных антибактериальных препаратов в птицеводстве и животноводстве. *Ветеринария Кубани*, 6, 6-8.
- Миклашевская, Е. В. (2020). Янтарная кислота в системе противопаразитарных мероприятий в птицеводстве. *Ученые записки учреждения образования «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины»*, 56(3), 33-40.
- Михалёва, Т. В., Захарова, О. И., & Ильясов, П. В. (2019). Антибиотикорезистентность: Современные подходы и пути преодоления. *Прикладная биохимия и микробиология*, 55(2), 124-132. <https://doi.org/10.1134/S0555109919020119>
- Музыка, Н. Н., & Белецкая, А. В. (2020). Оценка антибиотикорезистентности перед применением антимикробных препаратов у птицы. *Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства*, 2, 183-189.
- Муллаярова, И. Р. (2021). Результаты комплексного лечения мастита у крупного рогатого скота. В *Ветеринарная медицина в XXI веке: роль биотехнологий и цифровых технологий: Материалы Международной научно-практической конференции студентов, магистрантов и молодых ученых* (с. 74-75). Витебск: Витебская государственная академия ветеринарной медицины.
- Назарова, А. В., Жичкина, Л. В., & Семенов, Б. С. (2019). Применение амоксициллина в терапии инфекций мочевыводящих путей у кошек. В *Эффективные и безопасные лекарственные средства в ветеринарии: Материалы V Международного конгресса ветеринарных фармакологов и токсикологов* (с. 131-134). СПб.: Санкт-Петербургская государственная академия ветеринарной медицины.
- Некрасова, Н. Н., & Рыжкова, Г. Ф. (2018). Влияние янтарной кислоты и пропиленгликоля на углеводный обмен в период суягности овцематок. *Известия Уфимского научного центра РАН*, 3, 63-66. <https://doi.org/10.31040/2222-8349-2018-0-3-63-66>
- Немцова, А. С., Гарбузов, А. А., & Юшковский, Е. А. (2020). Изучение влияния ветеринарных препаратов, производных цефтиофура и амоксициллина, на сроки ожидания молока для реализации на пищевые цели. В *Студенты – науке и практике АПК: Материалы 105-й Международной научно-практической конференции студентов и магистрантов* (с. 44-45). Витебск: ВГАВМ.
- Новиков, В. Е., & Левченко, О. С. (2013). Новые направления поиска лекарственных средств с антигипоксической активностью и мишени их действия. *Экспериментальная и клиническая фармакология*, 5, 37-47.
- Овчарова, А. Н., & Петраков, Е. С. (2018). Новые пробиотические препараты на основе *Lactobacillus reuteri* и перспекти-

- вы использования их в животноводстве. *Проблемы биологии продуктивных животных*, 2, 5-18. <https://doi.org/10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2018.2.5-18>
- Оробец, В. А., & Севостьянова, О. И. (2016). Современные средства коррекции интенсивности обменных процессов, применяемые в технологии промышленного птицеводства. В *Инновационные технологии в науке и образовании: Монография* (с. 141-153). Пенза: Наука и Просвещение.
- Панин, А. Н., Комаров, А. А., Куликовский, А. В., & Макаров Д. А. (2017). Проблема резистентности к антибиотикам возбудителей болезней, общих для человека и животных. *Ветеринария, зоотехния и биотехнология*, 5, 18-24.
- Плакунов, В. К., Мартьянов, С. В., Тетенева, Н. А., & Журина, М. В. (2017). Управление формированием микробных биопленок: анти- и пробиопленочные агенты. *Микробиология*, 86(4), 402-420. <https://doi.org/10.7868/S0026365617040127>
- Поздняков, Д. И., Мамлеев, А. В., Ладыка, А. А., Рыбалко, И. Е., & Ларский, М. В. (2020). Антиоксидантный и антимилоидный потенциал производных янтарной кислоты. *Международный научно-исследовательский журнал*, 11-1, 175-178. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.031>
- Попов, И. А. (2020). Анализ ассортимента лекарственных препаратов янтарной кислоты. В *Природные соединения и здоровье человека: Материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых ученых с международным Участием* (с. 173-178). Иркутск: Иркутский государственный медицинский университет.
- Радюк, Д. В. (2018). Лечение собак, больных гастроэнтеритом. В *Современные достижения ветеринарной медицины: Материалы всероссийской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых* (с. 162-165). Персиановский: Донской государственный аграрный университет.
- Романова, Ю. М. (2011). Биопленки патогенных бактерий и их роль в хронизации инфекционного процесса. Поиск средств борьбы с биопленками. *Вестник Российской академии медицинских наук*, 10, 31-39.
- Сеин, О. Б., & Керимов, К. Б. (2020). Комплексный препарат для коррекции метаболизма и неспецифической резистентности у животных. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*, 5, 141-147.
- Смирнов, А. В., Нестерова, О. Б., & Голубев, Р. В. (2014). Янтарная кислота и ее применение в медицине. Часть I. Янтарная кислота: Метаболит и регулятор метаболизма организма человека. *Нефрология*, 2, 33-41.
- Стецко, Т. И. (2014). Антимикробная активность амоксициллина по отношению к возбудителям респираторных заболеваний у свиней. *Биология тварин*, 16(2), 112-118.
- Субботин, В. В., & Данилевская, Н. В. (2011). Антибактериальная терапия в ветеринарной практике. *VetPharma*, 1, 38-42.
- Таран, И. Н. (2014). Эффективность патогенетической терапии при хроническом бронхите поросят в условиях ГП «ОХ «Днипро» Института сельского хозяйства степной зоны НААН Украины» Днепропетровского района Днепропетровской области. В *В мире научных открытий: Материалы III Всероссийской студенческой научной конференции с международным участием* (т. 5, ч. 2, с. 259-261). Ульяновск: УГСХА им. П. А. Столыпина.
- Тризна, Е. Ю., Байдамшина, Д. Р., Виницкий, А. А., & Каюмов, А. Р. (2020). Влияние in vitro изолированного и сочетанного с антибактериальными средствами применения бовгиалуронидазы азоксимер на целостность бактериальной биопленки и жизнеспособность микроорганизмов. *Экспериментальная и клиническая фармакология*, 83(2), 38-44. <https://doi.org/10.30906/0869-2092-2020-83-2-38-44>
- Форман, К. С. (2018). Экономическая эффективность способов комплексного лечения мастита у кошек. В *Современные достижения ветеринарной медицины: Материалы всероссийской научно-практической конференции студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых* (с. 88-93). Персиановский: Донской государственный аграрный университет.
- Хлопицкий, В. П., Шахов, А. Г., Востроилова, Г. А., Паршин, П. А., Ермакова, Т. И., & Левченко, В. В. (2018). Ингибирующая активность моно-и комплексных антибактериальных препаратов в отношении микроорганизмов, выделенных от коров при эндометритах. *Ветеринарный фармакологический вестник*, 3, 64-71.
- Хлопицкий, В. П., Шахов, А. Г., Паршин, П. А., Сашнина, Л. Ю., Калугина, А. Ю., & Стаценко, Е. И. (2018). Антимикробная активность препарата «Метрамаг» в отношении референтных штаммов и бактерий, выделенных от свиноматок при эндометритах. *Ветеринарный фармакологический вестник*, 3, 60-63.
- Чеботарь, И. В., Маянский, А. Н., Кончакова, Е. Д., Лазарева, А. В., & Чистякова, В. П. (2012). Антибиотикорезистентность биопленочных бактерий. *Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия*, 1, 51-58.
- Шахмарданова, С. А., Гулевская, О. Н., Хананашвили, Я. А., Зеленская, А. В., Нефедов, Д. А.,

- & Галенко-Ярошевский, П. А. (2016). Препараты янтарной и fumarовой кислот как средства профилактики и терапии различных заболеваний. *Журнал фундаментальной медицины и биологии*, 3, 16-30.
- Шкиль, Н. Н. (2020). Антибиотикорезистентность микроорганизмов и пути ее преодоления в ветеринарии. В *АгроНаука-2020: Труды Международной научной онлайн-конференции* (с. 198-202). Новосибирск: Государственная публичная научно-техническая библиотека СО РАН.
- Школьников, Е. Э., Еремец, Н. К., Павленко, И. В., Неминущая, Л. А., Скотникова, Т. А., Токарик, Э. Ф., & Хусаинов, И. А. (2014). Экобиотехнологические препараты для агропромышленного комплекса России. *Вестник Казанского технологического университета*, 13, 255-263.
- Щепеткина, С. В. (2017). Современные принципы антибиотикотерапии в свиноводстве. *Био*, 3, 24-26.
- Ahmadi, M., Derakhshandeh, A., Shirian, S., Daneshbod, Y., Ansari-Lari, M., & Saeid, N. (2017). Detection of bacterial biofilm in uterine of repeat breeder dairy cows. *Asian Pacific Journal of Reproduction*, 6, 136-139. <https://doi.org/10.12980/apjr.6.20170308>
- Bahamondez-Canas, T., & Smyth, H. D. (2018). Influence of excipients on the antimicrobial activity of tobramycin against *Pseudomonas aeruginosa* biofilms. *Pharmaceutical research*, 35(1), Article 10. <https://doi.org/10.1007/s11095-017-2301-5>
- Bedi, M. S., Verma, V., & Chhibber, S. (2009). Amoxicillin and specific bacteriophage can be used together for eradication of biofilm of *Klebsiella pneumoniae* B5055. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 25(7), 1145-1151. <https://doi.org/10.1007/s11274-009-9991-8>
- Beloelil, P. A. (2011). *Борьба с устойчивостью к антибиотикам с позиций безопасности пищевых продуктов в Европе*. Копенгаген: ВОЗ.
- Bjarnsholt, T. (2013). The role of bacterial biofilms in chronic infections. *Apmis*, 121, 1-58. <https://doi.org/10.1111/apm.12099>
- Boukahil, I., & Czuprynski, C. J. (2016). Mannheimia haemolytica biofilm formation on bovine respiratory epithelial cells. *Veterinary Microbiology*, 197, 129-136. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2016.11.012>
- Costerton, J. W. (2001). Cystic fibrosis pathogenesis and the role of biofilms in persistent infection. *Trends in Microbiology*, 9(2), 50-52. [https://doi.org/10.1016/s0966-842x\(00\)01918-1](https://doi.org/10.1016/s0966-842x(00)01918-1)
- Costerton, J. W., Stewart, P. S., & Greenberg, E. P. (1999). Bacterial biofilms: a common cause of persistent infections. *Science*, 284(5418), 1318-1322. <https://doi.org/10.1126/science.284.5418.1318>
- Del Prado, G., Ruiz, V., Naves, P., Rodríguez-Cerrato, V., Soriano, F., & del Carmen Ponte, M. (2010). Biofilm formation by *Streptococcus pneumoniae* strains and effects of human serum albumin, ibuprofen, N-acetyl-L-cysteine, amoxicillin, erythromycin, and levofloxacin. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*, 67(4), 311-318. <https://doi.org/10.1016/j.diagmicrobio.2010.03.016>
- Góchez, D., Moulim, G., Jeannin, M., & Erlacher-Vindel, E. (2020). *OIE Annual Report on Antimicrobial Agents Intended for Use in Animals. Better understanding of the global situation*.
- Hoiby, N., Bjarnsholt, T., Givskov, M., Molin, S., & Ciofu, O. (2010). Antibiotic resistance of bacterial biofilms. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 35(4), 322-332. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2009.12.011>
- Kumar, R., Chandar, B., & Parani, M. (2018). Use of succinic & oxalic acid in reducing the dosage of colistin against New Delhi metallo- β -lactamase-1 bacteria. *The Indian Journal of Medical Research*, 147(1), 97-101. https://doi.org/10.4103/ijmr.IJMR_1407_16
- Larsen, T. (2002). Susceptibility of *Porphyromonas gingivalis* in biofilms to amoxicillin, doxycycline and metronidazole. *Oral Microbiology and Immunology*, 17(5), 267-271. <https://doi.org/10.1034/j.1399-302x.2002.170501.x>
- Melchior, M. B., van Osch, M. H. J., Graat, R. M., van Duijkeren, E., Mevius, D. J., Nielen, M., Gaastra, W., & Fink-Gremmels, J. (2009). Biofilm formation and genotyping of *Staphylococcus aureus* bovine mastitis isolates: Evidence for lack of penicillin-resistance in Agr-type II strains. *Veterinary Microbiology*, 137(1-2), 83-89. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2008.12.004>
- Mlynek, K. D., Callahan, M. T., Shimkevitch, A. V., Farmer, J. T., Endres, J. L., Marchand, M., Bayles, K. W., Hoswill, A. R., & Kaplan, J. B. (2016). Effects of low-dose amoxicillin on *Staphylococcus aureus* USA300 biofilms. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 60(5), 2639-2651. <https://doi.org/10.1128/AAC.02070-15>
- Moraes, D., Brandao, L., Pitchenin, L., Filho, J., Mores, N., Nakazato, L., & Dutra, V. (2014). Occurrence of tad genes associated with biofilm formation in isolates of *Pasteurella multocida* from lungs of pigs with pneumonia. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 34, 1147-1152.
- Oliveira, M., Nunes, S. F., Carneiro, C., Bexiga, R., Bernardo, F., & Vilela, C. L. (2007). Time course of biofilm formation by *Staphylococcus aureus*

- and *Staphylococcus epidermidis* mastitis isolates. *Veterinary Microbiology*, 124(1-2), 187-191. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2007.04.016>
- Peeters, E., Nelis, H. J., & Coenye, T. (2008). Evaluation of the efficacy of disinfection procedures against *Burkholderia cenocepacia* biofilms. *Journal of Hospital Infection*, 70(4), 361-368. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2008.08.015>
- Percival, S., Knottenbelt, D., & Cochrane, C. (2011). *Biofilms and veterinary medicine*. Luxembourg: Springer.
- Ross, R. F. (2006). *Pasteurella multocida* and its role in porcine pneumonia. *Animal Health Research Reviews*, 7(1-2), 13-29. <https://doi.org/10.1017/S1466252307001211>
- Ross, S. S., & Fiegel, J. (2012). Nutrient dispersion enhances conventional antibiotic activity against *Pseudomonas aeruginosa* biofilms. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 40(2), 177-181. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2012.04.015>
- Rossi, E., Cimdins, A., Luthje, P., Brauner, A., Sjoling, A., Landini, P., & Romling, U. (2017). It's a gut feeling – *Escherichia coli* biofilm formation in the gastrointestinal tract environment. *Critical Reviews in Microbiology*, 44(1), 1-30. <https://doi.org/10.1080/1040841X.2017.1303660>
- Sedlacek, M. J., & Walker, C. (2007). Antibiotic resistance in an in vitro subgingival biofilm model. *Oral Microbiology and Immunology*, 22(5), 333-339. <https://doi.org/10.1111/j.1399-302X.2007.00366.x>
- Soares, G. M., Teles, F., Starr, J. R., Feres, M., Patel, M., Martin, L., & Teles, R. (2015). Effects of azithromycin, metronidazole, amoxicillin, and metronidazole plus amoxicillin on an in vitro polymicrobial subgingival biofilm model. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 59(5), 2791-2798. <https://doi.org/10.1128/AAC.04974-14>
- Stewart, P. S., & Costerton, J. W. (2001). Antibiotic resistance of bacteria in biofilms. *Lancet*, 358(9276), 135-138. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(01\)05321-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(01)05321-1)
- Waack, U., & Nicholson, T. L. (2018). Subinhibitory concentrations of amoxicillin, lincomycin, and oxytetracycline commonly used to treat swine increase *Streptococcus suis* biofilm formation. *Frontiers in Microbiology*, 9, Article 2707. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02707>
- Wolcott, R. D., & Ehrlich, G. D. (2008). Biofilms and Chronic Infections. *The Journal of the American Medical Association*, 299(22), 2682-2684. <https://doi.org/10.1001/jama.299.22.2682>
- Yonezawa, H., Osaki, T., Hojo, F., & Kamiya, S. (2019). Effect of *Helicobacter pylori* biofilm formation on susceptibility to amoxicillin, metronidazole and clarithromycin. *Microbial Pathogenesis*, 132, 100-108. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.04.030>

Amoxicillin and Acidic Acid: Effective Medicines for Animal Health Protection

Aleksander A. Komarov

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
SIC Agrovetzashchita LLC
4, Igarskiy lane, building 2, Moscow, 129329, Russian Federation
E-mail: komarov.a@vetmag.ru*

Sergey V. Engashev

*SIC Agrovetzashchita LLC
4, Igarskiy lane, building 2, Moscow, 129329, Russian Federation
E-mail: admin@vetmag.ru*

Ekaterina S. Engasheva

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: kengasheva@vetmag.ru*

Damir I. Udavliev

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: UdavlievDI@mgupp.ru*

Mikhail A. Egorov

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: egorovs@gmail.com*

Boris V. Usha

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: UshaBV@mgupp.ru*

Renat N. Selimov

*SIC Agrovetzashchita LLC
4, Igarskiy lane, building 2, Moscow, 129329, Russian Federation
E-mail: selimov.r@vetmag.ru*

Providing the domestic livestock and poultry farming that has been actively developing in recent years with effective and inexpensive medicines for animals, including to increase the competitiveness of domestic products in exports by increasing the profitability of production and reducing the cost of veterinary and sanitary measures, is one of the priorities of the Strategy scientific and technological development of the Russian Federation. One of the key tasks for creating safe and high-quality food products is the development, production and rational use of effective and safe means of protecting the health of farm animals. The review is devoted to the rationale for the development of innovative means of protecting the health of farm animals through the use of the antibiotic amoxicillin in combination with succinic acid. The review describes the pharmacological properties of penicillin antibiotics and, in particular, amoxicillin. Information about the problems of resistance of microorganisms to antibiotics caused by the formation

of biofilms is given. Information is given on substances that do not exhibit antibiotic properties, but are capable of enhancing the inhibitory effect of antibiotics. The expediency of searching for new combinations of antibiotics with excipients that contribute to the dissolution of biofilms and thus increase the effectiveness of antibiotics on target microorganisms is shown.

Key words: amoxicillin, succinic acid, medicines, farm animal

References

- Bekhalo, V. A., Bondarenko, V. M., Sysolyatina, E. V., & Nagurskaya, E. V. (2010). Immunobiologicheskie osobennosti bakterial'nykh kletok meditsinski-kh bioplenok [Immunobiological features of bacterial cells in medical biofilms]. *Mikrobiologiya [Microbiology]*, 4, 97-105.
- Buntovskaya, A. S., Nagibovich, O. A., Peleshok, S. A., Bolekhan, V. N., Protasov, O. V., Astanina, A. K., Zhemidov, D. M., & Ivanov, I. A. (2017). Problema bioplenok v meditsine [The problem of biofilms in medicine]. In *Innovatsii v meditsinskoj, farmatsevticheskoj, veterinarnoi ekologicheskoi mikrobiologii: Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [Innovations in Medical, Pharmaceutical, Veterinary Ecological Microbiology: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference]* (pp. 119-120). S-Petersburg: Chelovek i ego zdorov'e.
- Chebotař, I. V., Mayanskii, A. N., Konchakova, E. D., Lazareva, A. V., & Chistyakova, V. P. (2012). Antibiotikorezistentnost' bioplenochnykh bakterii [Antibiotic resistance of biofilm bacteria]. *Klinicheskaya mikrobiologiya i antimikrobnaya khimioterapiya [Clinical Microbiology and Antimicrobial Chemotherapy]*, 1, 51-58.
- Forman, K. S. (2018). Ekonomicheskaya effektivnost' sposobov kompleksnogo lecheniya mastita u koshek [Economic efficiency of methods of complex treatment of mastitis in cats]. In *Sovremennye dostizheniya veterinarnoi meditsiny: Materialy vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, magistrantov, aspirantov i molodykh uchenykh [Modern achievements of veterinary medicine: Proceedings of the All-Russian scientific-practical conference of students, undergraduates, graduate students and young scientists]* (pp. 88-93). Persianovskii: Donskoi gosudarstvennyi agrarnyi universitet.
- Galenko-Yaroshevskii, P. A., Chekman, I. S., & Gorchakova, N. A. (2001). *Ocherki farmakologii sredstv metabolicheskoi terapii [Essays on the pharmacology of metabolic therapy]*. Moscow: Meditsina.
- Galenko-Yaroshevskii, P. A., Sapronov, N. S., Kanorskii, S. G., & Mikhin, V. P. (2012). *Antiantianginal'nye sredstva: Fiziologicheskaya i molekulyarnaya farmakologiya, strategiya i taktika klinicheskogo primeneniya [Antianginal drugs: Physiological and molecular pharmacology, strategy and tactics of clinical use]*. Krasnodar: Prosveshchenie-Yug.
- Gostev, V. V., & Sidorenko, S. V. (2014). Bakterial'nye bioplenki i infektsii [Bacterial biofilms and infections]. *Zhurnal infektologii [Journal of Infectology]*, 2, 4-15.
- Grenkova, T. A., Sel'kova, E. P., Gusarova, M. P., Ershova, O. N., Aleksandrova, I. A., Sazykina, S. Yu., & Kurdyumova, N. V. (2014). Kontrol' za ustoichivost'yu mikroorganizmov k antibiotikam, antiseptikam i dezinfitsiruyushchim sredstvam [Monitoring the resistance of microorganisms to antibiotics, antiseptics and disinfectants]. *Epidemiologiya i vaktsinoprofilaktika [Epidemiology and Vaccination]*, 1, 29-33.
- Ivanov, N. P., Sushchikh, V. Yu., & Myktybaeva, R. Zh. (2020). Izuchenie ingibiruyushchei aktivnosti molochnokislykh bakterii i antibakterial'nykh preparatov k vzbuditelyu nekrobakterioza i soputstvuyushchei mikroflory [The study of the inhibitory activity of lactic acid bacteria and antibacterial drugs to the causative agent of necrobacteriosis and associated microflora]. In *Sovremennye vyzovy dlya biotekhnologii, veterinarii i meditsiny: Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [Modern challenges for biotechnology, veterinary science and medicine: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference]* (pp. 73-79). Gvardeisk: Nauchno-issledovatel'skii institut problem biologicheskoi bezopasnosti.
- Kapai, N. A., & Kugelev, I. M. (2020). Effektivnost' raznykh antibakterial'nykh preparatov pri lechenii respiratornykh zabolevanii svinei [The effectiveness of various antibacterial drugs in the treatment of respiratory diseases of pigs]. *Effektivnoe zhivotnovodstvo [Efficient Animal Husbandry]*, 8, 34-36.
- Khlopitskii, V. P., Shakhov, A. G., Parshin, P. A., Sashnina, L. Yu., Kalugina, A. Yu., & Statsenko, E. I. (2018). Antimikrobnaya aktivnost' preparata «Metramag» v otnoshenii referentnykh shtamov i bakterii, vydelennykh ot svinomatok pri endometritakh [Antimicrobial activity of Metramag against reference strains and bacteria isolated from sows with endometritis]. *Veterinarnyi farmakologicheskii vestnik [Veterinary Pharmacological Bulletin]*, 3, 60-63.
- Khlopitskii, V. P., Shakhov, A. G., Vostroilova, G. A., Parshin, P. A., Ermakova, T. I., & Levchenko, V. V.

- (2018). Ingibiruyushchaya aktivnost' mono-i kompleksnykh antibakterial'nykh preparatov v otnoshenii mikroorganizmov, vydelennykh ot korov pri endometritakh [Inhibitory activity of mono- and complex antibacterial drugs against microorganisms isolated from cows with endometritis]. *Veterinarnyi farmakologicheskii vestnik [Veterinary Pharmacological Bulletin]*, 3, 64-71.
- Kozlov, R. S., Sivaya, O. V., Krechikova, O. I., Ivanchik, N. V., & Shchetinin, E. V. (2010). *Dinamika rezistentnosti Streptococcus pneumoniae k antibiotikam v Rossii za period 1999-2009 gg. (Rezul'taty mnogotsentrovogo prospektivnogo issledovaniya PeGAS) [Dynamics of resistance of Streptococcus pneumoniae to antibiotics in Russia for the period 1999-2009 (Results of a multicenter prospective study of PeGAS)]*. *Klinicheskaya mikrobiologiya i antimikrobnaya khimioterapiya [Clinical Microbiology and Antimicrobial Chemotherapy]*, 4, 329-341.
- Lagun, L. V., & Zhavoronok, S. V. (2013). Bakterial'nye bioplenki i ikh rol' v razvitii infektsii mochevyvodyashchikh putei [Bacterial biofilms and their role in the development of urinary tract infections]. *Meditsinskii zhurnal [Medical Journal]*, 4, 21-27.
- Lenchenko, E. M., & Blyumenkrants, D. A. (2020). Izuchenie bioplenok enterobakterii, obrazuyushchikhsya pri boleznyakh organov pishchevareniya zhivotnykh [Study of biofilms of enterobacteria formed in diseases of the digestive organs of animals]. *Veterinariya [Veterinary]*, 1, 25-29. <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2020.23.1.25-29>
- Magnusson, U., Sternberg, S., Eklund, G., & Rozstal'nyi, A. (2019). *Ratsional'noe i effektivnoe primeneniye protivomikrobnnykh preparatov v svinovodstve i ptitsevodstve. Sluzhba zhivotnovodstva i zdorov'ya zhivotnykh FAO. Rukovodstvo 23 [Rational and effective use of antimicrobials in pig and poultry production. FAO Animal Production and Health Service. Guide 23]*. Rim: FAO.
- Mazur, I. A., Chekman, I. S., Belenichev, I. F., Voloshin, N. A., Gorchakova, N. A., & Kucherenko, L. I. (2007). *Metabolitotropnye preparaty [Metabolitotropic drugs]*. Zaporozh'e.
- Melikhov, S. V., & Rodionov, V. N. (2012). Primeneniye kompleksnykh antibakterial'nykh preparatov v ptitsevodstve i zhivotnovodstve [The use of complex antibacterial preparations in poultry and livestock]. *Veterinariya Kubani [Veterinary Kuban]*, 6, 6-8.
- Mikhaleva, T. V., Zakharova, O. I., & Il'yasov, P. V. (2019). Antibiotikorezistentnost': Sovremennyye podkhody i puti preodoleniya [Antibiotic resistance: Modern approaches and ways to overcome]. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya [Applied Biochemistry and Microbiology]*, 55(2), 124-132. <https://doi.org/10.1134/S0555109919020119>
- Miklashevskaya, E. V. (2020). Yantarnaya kislota v sisteme protivoparazitarnykh meropriyatii v ptitsevodstve [Succinic acid in the system of antiparasitic measures in poultry farming]. *Uchenye zapiski uchrezhdeniya obrazovaniya «Vitebskaya ordena «Znak Pocheta» gosudarstvennaya akademiya veterinarnoi meditsiny» [Scientific notes of the educational institution "Vitebsk Order of the Badge of Honor" State Academy of Veterinary Medicine]*, 56(3), 33-40.
- Mullayarova, I. R. (2021). Rezul'taty kompleksnogo lecheniya mastita u krupnogo rogatogo skota [The results of complex treatment of mastitis in cattle]. In *Veterinarnaya meditsina v XXI veke: Rol' biotekhnologii i tsifrovyykh tekhnologii: Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, magistrantov i molodykh uchenykh [Veterinary medicine in the 21st century: the role of biotechnologies and digital technologies: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference of Students, Undergraduates and Young Scientists]* (pp. 74-75). Vitebsk: Vitebskaya gosudarstvennaya akademiya veterinarnoi meditsiny.
- Muzyka, N. N., & Beletskaya, A. V. (2020). Otsenka antibiotikorezistentnosti pered primeneniem antimikrobnnykh preparatov u ptitsy [Assessment of antibiotic resistance before the use of antimicrobials in poultry]. *Aktual'nye problemy intensivnogo razvitiya zhivotnovodstva [Actual problems of intensive development of animal husbandry]*, 2, 183-189.
- Nazarova, A. V., Zhichkina, L. V., & Semenov, B. S. (2019). Primeneniye amoksitsillina v terapii infektsii mochevyvodyashchikh putei u koshek [The use of amoxicillin in the treatment of urinary tract infections in cats]. In *Effektivnyye i bezopastnyye lekarstvennyye sredstva v vetrinariii: Materialy V Mezhdunarodnogo kongressa veterinarnykh farmakologov i toksikologov [Effective and safe drugs in veterinary medicine: Proceedings of the V International Congress of Veterinary Pharmacologists and Toxicologists]* (pp. 131-134). S-Petersburg: Sankt-Peterburgskaya gosudarstvennaya akademiya veterinarnoi meditsiny.
- Nekrasova, N. N., & Ryzhkova, G. F. (2018). Vliyanie yantarnoi kisloty i propilenglikolya na uglevodnyi obmen v period suyagnosti ovtsematok [The effect of succinic acid and propylene glycol on carbohydrate metabolism during pregnancy in ewes]. *Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN [Proceedings of the Ufa Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]*, 3, 63-66. <https://doi.org/10.31040/2222-8349-2018-0-3-63-66>
- Nemtsova, A. S., Garbuzov, A. A., & Yushkovskii, E. A. (2020). Izuchenie vliyaniya veterinarnykh preparatov, proizvodnykh tseftiofura i amoksitsillina, na sroki ozhidaniya moloka dlya realizatsii na pishchevye tseli [Study of the effect of veterinary

- nary drugs, derivatives of ceftiofur and amoxicillin, on the waiting time for milk to be sold for food purposes]. In *Studenty - nauke i praktike APK: Materialy 105-i Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov i magistrantov* [Study of the effect of veterinary drugs, derivatives of ceftiofur and amoxicillin, on the waiting time for milk to be sold for food purposes] (pp. 44-45). Vitebsk: VGAVM.
- Novikov, V. E., & Levchenko, O. S. (2013). Novye napravleniya poiska lekarstvennykh sredstv s antigipoksicheskoi aktivnost'yu i misheni ikh deistviya [New directions in the search for drugs with antihypoxic activity and targets for their action]. *Ekspierimental'naya i klinicheskaya farmakologiya* [Experimental and clinical pharmacology], 5, 37-47.
- Orobets, V. A., & Sevost'yanova, O. I. (2016). Sovremennye sredstva korrektsii intensivnosti obmennykh protsessov, primenyaemye v tekhnologii promyshlennogo ptitsevodstva [Modern means of correcting the intensity of metabolic processes used in the technology of industrial poultry farming]. In *Innovatsionnye tekhnologii v nauke i obrazovanii: Monografiya* [Innovative Technologies in Science and Education: Monograph] (pp. 141-153). Penza: Nauka i Prosveshchenie.
- Ovcharova, A. N., & Petrakov, E. S. (2018). Novye probioticheskie preparaty na osnove Lactobacillus reuteri i perspektivy ispol'zovaniya ikh v zhivotnovodstve [New probiotic preparations based on Lactobacillus reuteri and prospects for their use in animal husbandry]. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh* [Problems of biology of productive animals], 2, 5-18. <https://doi.org/10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2018.2.5-18>
- Panin, A. N., Komarov, A. A., Kulikovskii, A. V., & Makarov D. A. (2017). Problema rezistentnosti k antibiotikam vzbuditelei boleznei, obshchikh dlya cheloveka i zhivotnykh [The problem of antibiotic resistance in pathogens common to humans and animals]. *Veterinariya, zootekhnika i biotekhnologiya* [Veterinary, Animal Science and Biotechnology], 5, 18-24.
- Plakunov, V. K., Mart'yanov, S. V., Teteneva, N. A., & Zhurina, M. V. (2017). Upravlenie formirovaniem mikrobnnykh bioplenok: Anti- i probioplennochnye agenty [Controlling the Formation of Microbial Biofilms: Anti- and Probiofilm Agents]. *Mikrobiologiya* [Microbiology], 86(4), 402-420. <https://doi.org/10.7868/S0026365617040127>
- Popov, I. A. (2020). Analiz assortimenta lekarstvennykh preparatov yantarnoi kisloty [Analysis of the range of medicinal products of succinic acid]. In *Prirodnye soedineniya i zdorov'e cheloveka: Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov i molodykh uchenykh s mezh.* *Uchastiem* [Natural Compounds and Human Health: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference of Students and Young Scientists with International Participation] (pp. 173-178). Irkutsk: Irkutskii gosudarstvennyi meditsinskii universitet.
- Pozdnyakov, D. I., Mamleev, A. V., Ladyka, A. A., Rybalko, I. E., & Larskii, M. V. (2020). Antioksidantnyi i antimiloidnyi potentsial proizvodnykh yantarnoi kisloty [Antioxidant and antimyoidal potential of succinic acid derivatives]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal* [International Research Journal], 11-1, 175-178. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2020.101.11.031>
- Radyuk, D. V. (2018). Lechenie sobak, bol'nykh gastroenteritom [Treatment of dogs with gastroenteritis]. In *Sovremennye dostizheniya veterinarnoi meditsiny: Materialy vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, magistrantov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Modern achievements of veterinary medicine: Proceedings of the All-Russian scientific-practical conference of students, undergraduates, graduate students and young scientists] (pp. 162-165). Persianovskii: Donskoi gosudarstvennyi agrarnyi universitet.
- Romanova, Yu. M. (2011). Bioplenki patogennykh bakterii i ikh rol' v khronizatsii infektsionnogo protsesssa. Poisk sredstv bor'by s bioplenkami [Biofilms of pathogenic bacteria and their role in the chronicity of the infectious process. Search for means of combating biofilms]. *Vestnik Rossiiskoi akademii meditsinskikh nauk* [Bulletin of the Russian Academy of Medical Sciences], 10, 31-39.
- Sein, O. B., & Kerimov, K. B. (2020). Kompleksnyi preparat dlya korrektsii metabolizma i nespetsificheskoi rezistentnosti u zhivotnykh [A complex drug for the correction of metabolism and non-specific resistance in animals]. *Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii* [Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy], 5, 141-147.
- Shakhmardanova, S. A., Gulevskaya, O. N., Khananashvili, Ya. A., Zelenskaya, A. V., Nefedov, D. A., & Galenko-Yaroshevskii, P. A. (2016). Preparaty yantarnoi i fumarovoi kislot kak sredstva profilaktiki i terapii razlichnykh zabolevanii [Preparations of succinic and fumaric acids as a means of prevention and treatment of various diseases]. *Zhurnal fundamental'noi meditsiny i biologii* [Journal of Fundamental Medicine and Biology], 3, 16-30.
- Shchepetkina, S. V. (2017). Sovremennye printsipy antibiotikoterapii v svinovodstve [Modern principles of antibiotic therapy in pig breeding]. *Bio*, 3, 24-26.
- Shkil', N. N. (2020). Antibiotikorezistentnost' mikroorganizmov i puti ee preodoleniya v veterina-

- rii [Antibiotic resistance of microorganisms and ways to overcome it in veterinary medicine]. In *AgroNauka-2020: Trudy Mezhdunarodnoi nauchnoi onlain-konferentsii* [AgroScience-2020: Proceedings of the International Scientific Online Conference] (pp. 198-202). Novosibirsk: Gosudarstvennaya publichnaya nauchno-tehnicheskaya biblioteka SO RAN.
- Shkol'nikov, E. E., Eremets, N. K., Pavlenko, I. V., Neminushchaya, L. A., Skotnikova, T. A., Tokarik, E. F., & Khusainov, I. A. (2014). Ekobiotehnologicheskie preparaty dlya agropromyshlennogo kompleksa Rossii [Ecobiotechnological preparations for the agro-industrial complex of Russia]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University], 13, 255-263.
- Smirnov, A. V., Nesterova, O. B., & Golubev, R. V. (2014). Yantarnaya kislota i ee primeneniye v meditsine. Chast' I. Yantarnaya kislota: Metabolit i regulyator metabolizma organizma cheloveka [Succinic acid and its use in medicine. Part I. Succinic acid: Metabolite and regulator of human metabolism]. *Nefrologiya* [Nephrology], 2, 33-41.
- Stetsko, T. I. (2014). Antimikrobnaya aktivnost' amoksitsillina po otnosheniyu k vzbuditelyam respiratornykh zabolevaniy u svinei [Antimicrobial activity of amoxicillin against pathogens of respiratory diseases in pigs]. *Biologiya tvarin* [Biology of Creatures], 16(2), 112-118.
- Subbotin, V. V., & Danilevskaya, N. V. (2011). Antibakterial'naya terapiya v veterinarnoi praktike [Antibacterial therapy in veterinary practice]. *VetPharma*, 1, 38-42.
- Taran, I. N. (2014). Effektivnost' patogeneticheskoi terapii pri khronicheskom bronkhite porosyat v usloviyakh GP «OKh «Dnipro» Instituta sel'skogo khozyaistva stepnoi zony NAAN Ukrainy» Dnepropetrovskogo raiona Dnepropetrovskoi oblasti [Efficiency of pathogenetic therapy in chronic bronchitis of piglets in the conditions of the State Enterprise "EC "Dnipro" of the Institute of Agriculture of the Steppe Zone of the National Academy of Sciences of Ukraine" of the Dnepropetrovsk district of the Dnipropetrovsk region]. In *V mire nauchnykh otkrytii: Materialy III Vserossiiskoi studencheskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [In the world of scientific discoveries: Proceedings of the 3rd All-Russian student scientific conference with international participation] (vol. 5, part. 2, pp. 259-261). Ul'yanovsk: UGSKhA im. P. A. Stolypina.
- Trizna, E. Yu., Baidamshina, D. R., Vinitskii, A. A., & Kayumov, A. R. (2020). Vliyanie in vitro izolirovannogo i sochetannogo s antibakterial'nymi sredstvami primeneniya bovghialuronidazy azoksimer na tselostnost' bakterial'noi bioplenki i zhiznesposonost' mikroorganizmov [In vitro influence of bovghialuronidase azoximer isolated and combined with antibacterial agents on the integrity of the bacterial biofilm and viability of microorganisms]. *Eksperimental'naya i klinicheskaya farmakologiya* [Experimental and Clinical Pharmacology], 83(2), 38-44. <https://doi.org/10.30906/0869-2092-2020-83-2-38-44>
- Vinnik, Yu. S., Per'yanova, O. V., Onzul', E. V., & Teplyakova, O. V. (2010). Mikrobnnye bioplenki v khirurgii: Mekhanizmy obrazovaniya, lekarstvennaya ustoichivost', puti resheniya problem [Microbial biofilms in surgery: formation mechanisms, drug resistance, ways to solve the problem]. *Novosti khirurgii* [Surgery News], 6, 115-125.
- Vorob'eva, N. V., & Popov, V. S. (2020). Novaya kormovaya dobavka povyshaet produktivnost' u zhivotnykh [New feed additive boosts animal performance]. In *Perspektivy razvitiya otrasli i predpriyatii APK: Otechestvennyi i mezhdunarodnyi opyt: Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Prospects for the development of the industry and enterprises of the agro-industrial complex: Domestic and international experience: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference] (pp. 58-61). Omsk: Omskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet imeni P. A. Stolypina.
- Voznesenskii, N. A. (2008). Bioplenki terapevticheskaya mishen' pri khronicheskikh infektsiyakh [Biofilms as a therapeutic target for chronic infections]. *Prakticheskaya pul'monologiya* [Practical Pulmonology], 3, 43-44.
- Zhumagalieva, G. K., & Argumbaeva, M. S. (2019). Antibiotiki v pishchevoi produkcii [Antibiotics in food products]. *Aprobatsiya* [Approbatation], 1, 11-14.
- Zinchenko, A. I. (2016). Bioplenki mikroorganizmov i metody bor'by s nimi [Biofilms of microorganisms and methods of their control]. In *Mikrobnnye biotekhnologii: Fundamental'nye i prikladnye aspekty: Sbornik nauchnykh trudov* [Microbial biotechnologies: Fundamental and applied aspects: Collection of scientific papers] (pp. 334-352). Minsk: Belorusskaya nauka.
- Ahmadi, M., Derakhshandeh, A., Shirian, S., Daneshbod, Y., Ansari-Lari, M., & Saeid, N. (2017). Detection of bacterial biofilm in uterine of repeat breeder dairy cows. *Asian Pacific Journal of Reproduction*, 6, 136-139. <https://doi.org/10.12980/apjr.6.20170308>
- Bahamondez-Canas, T., & Smyth, H. D. (2018). Influence of excipients on the antimicrobial activity of tobramycin against *Pseudomonas aeruginosa* biofilms. *Pharmaceutical research*, 35(1), Article 10. <https://doi.org/10.1007/s11095-017-2301-5>

- Bedi, M. S., Verma, V., & Chhibber, S. (2009). Amoxicillin and specific bacteriophage can be used together for eradication of biofilm of *Klebsiella pneumoniae* B5055. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 25(7), 1145-1151. <https://doi.org/10.1007/s11274-009-9991-8>
- Beloelil, P. A. (2011). *Борьба с устойчивостью к антибиотикам с позиций безопасности пищевых продуктов в Европе*. Копенгаген: ВОЗ.
- Bjarnsholt, T. (2013). The role of bacterial biofilms in chronic infections. *Apmis*, 121, 1-58. <https://doi.org/10.1111/apm.12099>
- Boukahil, I., & Czuprynski, C. J. (2016). Mannheimia haemolytica biofilm formation on bovine respiratory epithelial cells. *Veterinary Microbiology*, 197, 129-136. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2016.11.012>
- Costerton, J. W. (2001). Cystic fibrosis pathogenesis and the role of biofilms in persistent infection. *Trends in Microbiology*, 9(2), 50-52. [https://doi.org/10.1016/s0966-842x\(00\)01918-1](https://doi.org/10.1016/s0966-842x(00)01918-1)
- Costerton, J. W., Stewart, P. S., & Greenberg, E. P. (1999). Bacterial biofilms: a common cause of persistent infections. *Science*, 284(5418), 1318-1322. <https://doi.org/10.1126/science.284.5418.1318>
- Del Prado, G., Ruiz, V., Naves, P., Rodríguez-Cerrato, V., Soriano, F., & del Carmen Ponte, M. (2010). Biofilm formation by *Streptococcus pneumoniae* strains and effects of human serum albumin, ibuprofen, N-acetyl-L-cysteine, amoxicillin, erythromycin, and levofloxacin. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*, 67(4), 311-318. <https://doi.org/10.1016/j.diagmicrobio.2010.03.016>
- Góchez, D., Moulim, G., Jeannin, M., & Erlacher-Vindel, E. (2020). *OIE Annual Report on Antimicrobial Agents Intended for Use in Animals. Better understanding of the global situation*.
- Hoiby, N., Bjarnsholt, T., Givskov, M., Molin, S., & Ciofu, O. (2010). Antibiotic resistance of bacterial biofilms. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 35(4), 322-332. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2009.12.011>
- Kumar, R., Chandar, B., & Parani, M. (2018). Use of succinic & oxalic acid in reducing the dosage of colistin against New Delhi metallo- β -lactamase-1 bacteria. *The Indian Journal of Medical Research*, 147(1), 97-101. https://doi.org/10.4103/ijmr.IJMR_1407_16
- Larsen, T. (2002). Susceptibility of *Porphyromonas gingivalis* in biofilms to amoxicillin, doxycycline and metronidazole. *Oral Microbiology and Immunology*, 17(5), 267-271. <https://doi.org/10.1034/j.1399-302x.2002.170501.x>
- Melchior, M. B., van Osch, M. H. J., Graat, R. M., van Duijkeren, E., Mevius, D. J., Nielen, M., Gaastra, W., & Fink-Gremmels, J. (2009). Biofilm formation and genotyping of *Staphylococcus aureus* bovine mastitis isolates: Evidence for lack of penicillin-resistance in Agr-type II strains. *Veterinary Microbiology*, 137(1-2), 83-89. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2008.12.004>
- Mlynek, K. D., Callahan, M. T., Shimkevitch, A. V., Farmer, J. T., Endres, J. L., Marchand, M., Bayles, K. W., Hoswill, A. R., & Kaplan, J. B. (2016). Effects of low-dose amoxicillin on *Staphylococcus aureus* USA300 biofilms. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 60(5), 2639-2651. <https://doi.org/10.1128/AAC.02070-15>
- Moraes, D., Brandao, L., Pitchenin, L., Filho, J., Mores, N., Nakazato, L., & Dutra, V. (2014). Occurrence of tad genes associated with biofilm formation in isolates of *Pasteurella multocida* from lungs of pigs with pneumonia. *Pesquisa Veterinária Brasileira*, 34, 1147-1152.
- Oliveira, M., Nunes, S. F., Carneiro, C., Bexiga, R., Bernardo, F., & Vilela, C. L. (2007). Time course of biofilm formation by *Staphylococcus aureus* and *Staphylococcus epidermidis* mastitis isolates. *Veterinary Microbiology*, 124(1-2), 187-191. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2007.04.016>
- Peeters, E., Nelis, H. J., & Coenye, T. (2008). Evaluation of the efficacy of disinfection procedures against *Burkholderia cenocepacia* biofilms. *Journal of Hospital Infection*, 70(4), 361-368. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2008.08.015>
- Percival, S., Knottenbelt, D., & Cochrane, C. (2011). *Biofilms and veterinary medicine*. Luxembourg: Springer.
- Ross, R. F. (2006). *Pasteurella multocida* and its role in porcine pneumonia. *Animal Health Research Reviews*, 7(1-2), 13-29. <https://doi.org/10.1017/S1466252307001211>
- Ross, S. S., & Fiegel, J. (2012). Nutrient dispersion enhances conventional antibiotic activity against *Pseudomonas aeruginosa* biofilms. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 40(2), 177-181. <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2012.04.015>
- Rossi, E., Cimdins, A., Luthje, P., Brauner, A., Sjolting, A., Landini, P., & Romling, U. (2017). It's a gut feeling – *Escherichia coli* biofilm formation in the gastrointestinal tract environment. *Critical Reviews in Microbiology*, 44(1), 1-30. <https://doi.org/10.1080/1040841X.2017.1303660>
- Sedlacek, M. J., & Walker, C. (2007). Antibiotic resistance in an in vitro subgingival biofilm model. *Oral Microbiology and Immunology*, 22(5), 333-339. <https://doi.org/10.1111/j.1399-302X.2007.00366.x>
- Soares, G. M., Teles, F., Starr, J. R., Feres, M., Patel, M., Martin, L., & Teles, R. (2015). Effects of azithromycin, metronidazole, amoxicillin, and metronidazole plus amoxicillin on an in vitro polymicrobial subgingival biofilm model. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, 59(5), 2791-2798. <https://doi.org/10.1128/AAC.04974-14>

- Stewart, P. S., & Costerton, J. W. (2001). Antibiotic resistance of bacteria in biofilms. *Lancet*, 358(9276), 135-138. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(01\)05321-1](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(01)05321-1)
- Waack, U., & Nicholson, T. L. (2018). Subinhibitory concentrations of amoxicillin, lincomycin, and oxytetracycline commonly used to treat swine increase *Streptococcus suis* biofilm formation. *Frontiers in Microbiology*, 9, Article 2707. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02707>
- Wolcott, R. D., & Ehrlich, G. D. (2008). Biofilms and Chronic Infections. *The Journal of the American Medical Association*, 299(22), 2682-2684. <https://doi.org/10.1001/jama.299.22.2682>
- Yonezawa, H., Osaki, T., Hojo, F., & Kamiya, S. (2019). Effect of *Helicobacter pylori* biofilm formation on susceptibility to amoxicillin, metronidazole and clarithromycin. *Microbial Pathogenesis*, 132, 100-108. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.04.030>

Особенности подбора сортов овса и ячменя для использования в технологиях получения белково-липидно-углеводных композиций со сбалансированным нутриентным составом

Гапонова Лилия Валентиновна

ФИЦ ВИР им Н.И. Вавилова

Адрес: 190000, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 42-44

E-mail: dietotherapy@vniig.org, lilia.gaponova@yandex.ru

Полежаева Татьяна Андреевна

ВНИИЖиров

Адрес: 191118, г. Санкт-Петербург, ул. Черняховского, д. 10

E-mail: polezhaevata@yandex.ru

Матвеева Галина Алексеевна

ВНИИЖиров

Адрес: 191118, г. Санкт-Петербург, ул. Черняховского, д. 10

E-mail: galinamatveeva57@mail.ru

Блинова Елена Владимировна

E-mail: blinova.blinovalena2015@yandex.ru

ФИЦ ВИР им Н.И. Вавилова

Адрес: 190000, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 42-44

Лоскутов Игорь Градиславович

ФИЦ ВИР им Н.И. Вавилова

Адрес: 190000, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 42-44

E-mail: i.loskutov@vir.nw.ru

В технологии специализированных продуктов и продуктов детского питания особая роль принадлежит зерновым культурам, составляющим значительную часть сырья предприятий пищевой и перерабатывающей промышленности. Наиболее перспективным сырьём для производства белково-липидных композиций среди зерновых культур являются такие широко распространенные в РФ и важные зерновые культуры, как овёс и ячмень, благодаря своей способности формировать экономически эффективные, стабильные урожаи зерна в широком диапазоне почвенных и климатических условий. Генетический потенциал сорта в значительной мере определяет уровень урожайности и качество продукции. В связи с этим актуальна селекция голозёрного овса и ячменя, который имеет ценное по качеству зерно и более технологичен в переработке по сравнению с плёнчатым. Материалом для данного исследования служили 27 сортов ячменя и овса (голозёрные и плёнчатые подвиды) из мировой коллекции Федерального исследовательского центра Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР). У сортов ячменя и овса были измерены и рассчитаны геометрические характеристики зерна (линейные размеры, площадь внешней поверхности, сферичность, объём зерна, отношение объёма зерна к площади внешней поверхности), определены характеристики зерна, связанные с плотностью (физическая плотность, насыпная плотность (натура), масса и объём 1000 семян); исследованы содержание влаги, белка и жира в зёрнах овса и ячменя. В результате изучения отобраны голозёрные два сорта овса («Самсон 57» и «Першерон») и два сорта ячменя («Нудум 95» и «Омский голозёрный 4»), характеризующиеся повышенным содержанием белка и жира, повышенной плотностью и достаточным размером зёрен. Показатели выделенных

голозерных сортов ячменя и овса превышают стандартные геометрические и физические зерновые показатели и обладают биохимическими свойствами, необходимыми для получения белково-липидно-углеводных композиций из зернового сырья со сбалансированным нутриентным составом для последующего использования в специализированном и массовом, в т.ч. детском питании.

Ключевые слова: зерно, овёс, ячмень, селекция, сырьё, лечебное и детское питание, белково-липидно-углеводные композиции

Введение

Зерновые, зернобобовые культуры и орехи занимают значительное место в рационе питания человека. По пищевой и биологической ценности они немного уступают другим пищевым продуктам, в частности, мясу и молоку. Потребительские свойства зерновой и зернобобовой продукции определяются пищевой ценностью, в том числе безопасностью. Пищевая ценность подразумевает сбалансированный нутриентный состав и наличие биологически активных веществ – белков, жиров, витаминов, минеральных веществ, клетчатки, усвояемых углеводов. Безопасность означает соответствие уровня содержания токсичных элементов, микотоксинов, нитратов, радионуклидов, пестицидов и патогенной микрофлоры требованиям таможенных регламентов. Снижение уровня содержания опасных контаминантов (тяжёлых металлов, радионуклидов, пестицидов, микотоксинов) обеспечивается использованием соответствующих технологических приёмов переработки зернового сырья: сухая и мокрая очистка, влаготепловая обработка с последующим удалением околоплодных оболочек, в которых обычно концентрируется основная часть ядовитых веществ; предварительное замачивание и пропаривание зерна.

Задачи исследования – применение комплексного подхода для исследования физико-химических показателей зерна овса и ячменя и осуществление научно обоснованного выбора сортов этих культур для производства овсяной и ячменной основы и продуктов из неё, характеризующихся повышенной питательной и биологической ценностью.

Цель исследований на данном этапе – определить и рассчитать такие технологические показатели зерна, как геометрические характеристики (длина, ширина, толщина, объём единичного зерна, площадь внешней поверхности, сферичность, отношение объёма к площади поверхности) и показатели плотности зерна (физическая плотность, истинная плотность, насыпная плотность (натура) и масса 1000 зерен); исследовать физико-химические показатели зерна (массовая доля влаги, жира и протеина). Далее, анализируя данные показатели, отобрать сорта, оптимально отвечающие

требованиям для производства овсяной и ячменной основы.

Теоретическое обоснование

Аналитический обзор литературы показывает, что экологическая обстановка, характеризующаяся повышением радиоактивного фона и химическим загрязнением окружающей среды, неизбежно приводит к поступлению токсичных веществ с продуктами питания в организм человека. Наиболее рациональным путем предупреждения попадания токсичных веществ в организм человека является поиск способов повышения безопасности пищевых продуктов и повышение их лечебно-профилактических свойств. Зерновая и семенная продукция наряду с высоким содержанием в ней ценных питательных веществ в значительной степени подвержена загрязнению радионуклидами, тяжелыми металлами, пестицидами. В то же время многие вещества в зерне зерновых культур и семенах зернобобовых культур обладают прямыми или косвенными радиопротекторными и антиоксидантными свойствами (белки, витамины, минеральные вещества, биофлавоноиды, пищевые волокна).

Во ВНИИЖиров разработан широкий ассортимент продуктов лечебно-профилактического и детского питания на зернобобовой основе для лечения и профилактики ряда широко распространённых заболеваний: желудочно-кишечные, сердечно-сосудистые, обмена веществ, аллергия и пищевая непереносимость и т.д. В медико-биологических и клинических исследованиях неоднократно доказана эффективность применения продуктов на основе соевых бобов в качестве диетотерапии различных патологий у людей и животных: алиментарная дистрофия, токсический и хронический гепатит, язва желудка, ожирение, гастродуодениты, колиты и энтериты, аллергия, лактазная недостаточность, дисбактериоз, острые респираторные заболевания и бронхиальная астма (Бульон и др., 1994; Хныченко и др., 2000; Гапонова и др., 2013; Гапонова, Полежаева, Тарасова и др., 2019; Гапонова, Полежаева, & Матвеева, 2019; Хныченко и др., 2000).

Среди них, в первую очередь, можно назвать соевую основу и соевый нерастворимый остаток (окара), бифисоин, соевый белковый продукт, напитки на соевой основе (в т.ч. с наполнителями, ферментированные, сокодержательные коктейли и т.д.); напитки, белковые продукты и десерты на зернобобовой, ореховой основе и комбинированной основе в т.ч. безглютеновые (кедровое и соево-кедровое «молоко», миндальное и соево-миндальное «молоко»; овсяная, рисовая, гречневая основы). Данные продукты теоретически можно рекомендовать для питания онкобольных, проходящих различные виды терапии.

Для создания специализированного питания используют поэтапную схему разработки рецептур и технологий продуктов здорового питания, состоящую из нескольких основных этапов, каждый из которых предусматривает реализацию нескольких подэтапов (Корнен и др., 2015).

В технологии специализированных продуктов и продуктов детского питания особая роль принадлежит зерновым культурам. Зерно составляет значительную часть сырья предприятий пищевой и перерабатывающей промышленности, тем самым формируя межотраслевые пропорции не только в агропромышленном производстве, но и во всей экономике страны¹. В этом плане наиболее перспективным сырьём для производства белково-липидных композиций среди зерновых культур являются овёс и ячмень.

Ячмень, как и пшеница, и рожь, относится к древним зерновым культурам и содержит разнообразные ферменты (амилаза, протеаза, пероксидаза и др.). Некоторые сорта ячменя способны образовывать клейковину в количестве от 3 до 28%. В России возделывается около 200 сортов ячменя, из них 6 голозерных сортов. Наиболее ценные по качествам сорта: Абава, Бачан, Белогорский, Визит, Винер, Волгарь, Гонар, Московский 2, Нутанс 187 и др.

Овёс является более молодой культурой, чем пшеница и ячмень. Овёс посевной (*Avena sativa* L.) имеет два подвида — овес пленчатый (*A. sativa* subsp. *sativa* L.)² и голозерный (*A. sativa* subsp. *nudisativa* (Husn.) Rod. et Sold.) (Лоскутов, 2007; Лоскутов и др., 2020).

В России возделывается более 100 сортов овса, из них 16 голозерных сортов. Наиболее ценные по

качествам сорта: Аргамак, Борец, Всадник, Драгун, Друг, Залп, Кенгер, Макс, Скакун, Стиплер и др. (Баталова & Шевченко, 2018).

Зерновка овса удлиненно-цилиндрической формы, на брюшной её стороне находится продольная глубокая бороздка. Длина зерновки колеблется от 8 до 16 мм, ширина от 1,5 до 4 мм, толщина от 1,2 до 3,8 мм. Масса 1000 зёрен от 16 до 35 г. Геометрические характеристики зерновки голозерного овса также обладают большим разнообразием (Иванова и др., 2018). В здоровом питании человека роль овса неуклонно повышается. Овес – одна из наиболее распространенных и важных зерновых культур. Он способен формировать экономически эффективные, стабильные урожаи зерна в широком диапазоне почвенных и климатических условий. Актуальна селекция голозерного овса, который имеет ценное по качеству зерно и более технологичен в переработке по сравнению с плёчатый. Селекция сортов голозерного овса в СССР началась во второй половине прошлого столетия. Первый голозерный сорт овса в РФ был зарегистрирован в 2000 г. – это был сорт Тюменский голозерный. В НИИСХ Северо-Востока селекция голозерного овса возобновилась в 1994 г., а в 2007 г. в реестр был включён сорт Вятский (оригинатор НИИСХ Северо-Востока), а в 2013 г. – Першерон. Сорт Першерон имеет среднюю урожайность 4,8 т/га, характеризуется высоким содержанием белка (15,09%) и жира (5,62%). Голозерные сорта Бекас (включён в госреестр в 2019 году) и Багет (включён в госреестр в 2020 году), оригинатор которых также является НИИСХ Северо-Востока, формируют ценное по качеству зерно с пониженным содержанием глютена (менее 20 мг/г), содержат олеиновую (36,42 и 33,49%) и линолевою (35,89 и 38,37%) кислоты соответственно.

Следует отметить, что урожайность культуры в России остается невысокой и значительно варьирует по годам, что во многом определяют экологические факторы среды, технологии выращивания и используемый в производстве сортимент. Генетический потенциал сорта, в значительной мере, определяет уровень урожайности и качество продукции, что указывает на целесообразность отбора сортов, допущенных в производство. Значение овса недооценено по сравнению с пшеницей, рисом и ячменем, несмотря на содержание полезных макро и микронутриентов, способствующих лечению и профилактики ряда заболеваний, в том

¹ Гордеев, А. В., & Бутковский, В. А. (2009). *Россия – зерновая держава: Учебник (2-е изд.)*. М.: ДеЛиПринт.

² Лоскутов, И. Г., Ковалева, О. Н., & Блинова, Е. В. (2012). *Методические указания по изучению и сохранению мировой коллекции ячменя и овса (4-е изд.)*. СПб.: ГНЦ РФ ВИР.

числе предупреждающих метаболический синдром, злокачественные новообразования, возрастные нарушения на клеточном уровне (Stewart & McDougall, 2014).

Овес относят к группе зернофуражных культур, но его всегда использовали в питании. Использование овса приобретает все большее значение, особенно в связи с новыми медико-биологическими и биохимическими исследованиями, указывающими на его бесспорную эффективность в питании человека. В зерне овса содержатся вещества, которые великий русский физиолог И.П. Павлов называл «подлинными возбуждателями жизни»³. Латинское название овса (*Avena*) буквально означает «быть здоровым», продукты из овса относят к здоровой – функциональной пище, они имеют повышенное содержание β-глюканов и полисахаридов, которые снижают риск сердечно-сосудистых заболеваний, антиоксидантов (авенантрамиды и витамин E), положительно влияющих на здоровье человека (Красильников и др., 2017; Daou & Zhang, 2012; Leonova et al., 2020; Shvachko et al., 2021; Singh et al., 2013). Их могут потреблять люди, страдающие глютеновой энтеропатией – целиакией (Гаврилюк и др., 2013; Meydani, 2009; Pawlowska et al., 2012). Овес обладает повышенным содержанием микроэлементов в свое зерновке, которые важны в питании человека (Bityutskii et al., 2019). Показатели качества зерна овса являются сортовыми наследственными признаками, как и признаки продуктивности, что указывает на возможность их дальнейшего улучшения (Leonova et al., 2008; Liu, 2011). Голозерные сорта овса имеют ряд преимуществ по сравнению с сортами пленчатыми, а по качеству зерна превосходят их по питательной ценности. Так, содержание белка в зерне голозерных генотипов на 1,9...3,5% больше, чем в зерне пленчатых (Юсова & Васюкевич, 2014). Белковый комплекс пленчатого овса представлен в основном низкомолекулярными белками (альбумины и глобулины) – 38,3...0,7%, у голозерного преобладают глютенины – 47,3...50,4%, при более сбалансированном аминокислотном составе (Козлова & Акимова, 2009). Наличие масла отличает овсяное зерно от зерна других хлебных зла-

ков, отмечают потенциальную возможность его использования в качестве масличной культуры (Koehler & Wieser, 2013). Голозерный овес обладает устойчивостью к фузариозу зерна и накапливает меньше микотоксинов (Гагкаева и др., 2012; Лоскутов, Гагкаева и др., 2016) и имеет повышенное содержание многих биохимических компонентов (Красильников и др., 2017; Leonova et al., 2020; Лоскутов и др., 2016; Иванова и др., 2018).

Для создания новых сортов семян необходим исходный материал, позволяющий выводить сорт устойчивый к заболеваниям и одновременно обладающий высокой продуктивностью и качественными характеристиками, удовлетворяющими запросы потребителей для создания новых видов продуктов, в том числе специализированного питания. При создании сортов овса в скрещиваниях используется очень часто исходный материал из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР) (Кабашов и др., 2020).

Материалы и методы исследования

Объекты исследования

Объектами исследования служили: зерно овса и ячменя (в т.ч. материал из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР). Зерно урожая 2020 года; стандартные условия хранения).

Методы

В работе применялись следующие методы исследований:

- метод отбора проб и выделение навесок семян – по ГОСТ 10852⁴ и ГОСТ 13586.3⁵;
- определение цвета и запаха – по ГОСТ 27988⁶;
- определение примесей – по ГОСТ 10854⁷ и ГОСТ 30483-97⁸;
- определение массовой доли жира семян – по ГОСТ 10857⁹;

³ Лапина, С. Очищающая сила овса. <https://hozyain.by/zdorovie/ochishhayushhaya-sila-ovsa>

⁴ ГОСТ 10852-86. (2010). *Семена масличные. Правила приемки и методы отбора проб*. М.: Стандартинформ.

⁵ ГОСТ 13586.3-2015. (2019). *Зерно. Правила приемки и методы отбора проб*. М.: Стандартинформ.

⁶ ГОСТ 27988-88. (2010). *Семена масличные. Методы определения цвета и запаха*. М.: Стандартинформ.

⁷ ГОСТ 10854-2015. (2019). *Семена масличные. Методы определения сорной, масличной и особо учитываемой примеси*. М.: Стандартинформ.

⁸ ГОСТ 30483-97. (1997). *Зерно. Методы определения общего и фракционного содержания сорной и зерновой примесей; содержания мелких зерен и крупности; содержания зерен пшеницы, поврежденных клопом-черепашкой; содержания металломагнитной примеси*. Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации.

⁹ ГОСТ 10857-64. (2010). *Семена масличные. Метод определения масличности*. М.: Стандартинформ.

- определение массовой доли сырого протеина семян – по ГОСТ 13496.4¹⁰;
- определение насыпной плотности (натуры) семян по ГОСТ 10840-2017 и ГОСТ 30046-93;
- определение массы 1000 семян по ГОСТ 10842-89.

Свойства сортов овса и ячменя из коллекции ВИР исследовали в соответствии с выше приведёнными методами. Определение каждого показателя проводили двукратно и трёхкратно. Показатели усредняли с применением системы статистического анализа, указанной ниже.

Математическая обработка результатов эксперимента осуществлялась с помощью системы статистического анализа – Statistica 10,0.

Результаты и их обсуждение

В результате проведённых исследований установлено, что все исследуемые сорта ячменя и овса по своим показателям соответствуют требованиям нормативных документов сырья для продовольственных целей (влажность, содержание сорной примеси, натура (насыпная плотность)), кроме сортов К-15691 (К- номер каталога ВИР), плёнчатый «Петрович» (натура 355 кг/м³) и К-13780, плёнча-

тый «Скакун» (натура 437 кг/м³) при норме в соответствии с ГОСТ 28673-90¹¹-460 кг/м³.

Геометрические характеристики исследуемых зерновок овса и ячменя соответствуют усреднённым показателям и зависят от сорта и состояния зерна (шелушёное и нешелушёное зерно). Так, линейные размеры, объём зерна и площадь внешней поверхности нешелушёного зерна овса в 2-3 раза превышают соответствующие показатели шелушёного зерна (Таблица 1 и Таблица 3). Наибольшие размеры нешелушёного и очищенного зерна у сортов овса «Бекас» и «Петрович»; среднюю позицию занимают «Скакун», «Самсон 57» и «Багет»; наименьшие размеры - у семян «Першерон» (Таблица 1). Что касается исследуемых сортов ячменя, наибольшие значения геометрических характеристик – у сортов «Суздалец» и «Нудум 95», средние значения – у «Inari Nutans» наименьшие – у Омского голозёрного 4 (Таблица 3).

Форма зерна является сортовым признаком, который оценивается показателем сферичности. Сферичность исследуемых образцов овса соответствует овальной форме зерновки, которая наблюдается более, чем у половины сортов овса. Большие объём и площадь внешней поверхности обеспечиваются в основном шириной и толщиной зерна, что согласуется с данными других

Таблица 1

Геометрические характеристики исследуемых образцов овса (очищенное зерно)

Сорт	Линейные размеры, мм			Объем (V), мм ³	Площадь внешней поверхности (F), мм ²	Сферичность (Ψ)	Отношение V/F, мм
	длина (l)	ширина (a)	толщина (b)				
1	2	3	4	5	6	7	8
К-15615, голозёрный «Бекас», Кировская область	9,0±1,0	3,0±0,1	2,0±0,1	22,9±4,4	53,65±8,15	0,72±0,01	0,43±0,02
К-15691, плёнчатый «Петрович», Краснодарский край	9,5±0,5	3,5±0,1	3,0±0,1	42,1±4,9	74,9±6,4	0,63±0,13	0,56±0,02
К-15757, голозёрный «Самсон 57», Орловская область	7,0±1,0	2,5±0,5	1,8±0,2	18,9±1,3	36,6±11,2	0,74±0,02	0,36±0,06
К-13780, плёнчатый «Скакун», Московская область	8,0±1,0	2,1±0,1	1,6±0,1	12,4±4,2	34,2±5,8	0,77±0,03	0,35±0,06
К-15275, голозёрный «Першерон», Кировская область	7,0 ±0,2	2,3±0,2	1,3±0,2	8,5±2,8	28,6±5,6	0,69±0,03	0,29±0,04
К-15754, голозерный «Багет», Кировская область	8,4±0,3	2,3±0,2	1,9±0,1	15,2±3,1	51,3±14,6	0,70±0,01	0,31±0,02
Овес без плёнок, усреднённые данные	12,3±4,3	2,7±1,3	2,4±1,2	27,5±8,5	47,5±17,5	0,71±0,06	0,45±0,09

¹⁰ ГОСТ 13496.4-93. (2019). *Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина*. М.: Стандартинформ.

¹¹ ГОСТ 28673-90. (2015). *Овес. Требования при заготовках и поставках*. М.: Стандартинформ.

Таблица 2

Основные характеристики исследуемых образцов овса

Сорт	Плотность, 10 ³ кг/м ³	Масса 1000 зерен, г	Объём 1000 зёрен, см ³	Натура, кг/м ³
1	2	3	4	5
К-15615, голозёрный «Бекас», Кировская область	1,308	31,4	24,0	512,5
К-15691, плёнчатый «Петрович», Краснодарский край	1,006	36,2	36,0	355,0
К-15757, голозёрный «Самсон 57», Орловская область	1,544	27,8	18,0	688,0
К-13780, плёнчатый «Скакун», Московская область	1,003	29,1	29,0	437,0
К-15275, голозёрный «Першерон», Кировская область	1,432	27,2	19,0	683,5
К-15754, голозерный «Багет», Кировская область	1,280	28,4	22,2	503,7
Овес, усреднённые и нормативные данные	1,41±0,10	30±15	—	552±10;

исследователей. Содержание эндосперма в зерне, обеспечивающего его питательные свойства, прямо пропорционально объёму зерна, площади внешней поверхности и массе 1000 зерен, составляющую для крупнозерновых образцов от 22,6 до 31,2 г (Фомина & Аверьясова, 2016; Исачкова & Ганичев, 2012).

При изучении показателей зерна овса, связанных с плотностью, установлено, что наибольшей физической и насыпной плотностью обладают сорта «Першерон» и «Самсон 57», средней - «Бекас» и «Багет», наименьшей - «Петрович» и «Скакун» (Таблица 2). Данные по насыпной плотности (натуре) для сорта голозёрного овса «Першерон» несколько превышают, а для сорта «Бекас» ниже значения натуре, приведённой в исследованиях ФГБНУ Федерального аграрного научного центра Северо-Востока (Баталова & Шевченко, 2018). Показатель масса 1000 зёрен для сорта «Першерон» приблизительно соответствует аналогичному показателю в исследованиях ФАНЦ Северо-Востока. Насыпная плотность и масса 1000 семян для го-

лозёрного сорта овса «Самсон 57» соответствуют аналогичным показателям ФГБНУ «ВНИИ зернобобовых и крупяных культур» (Сидоренко & Наумкин, 2016). Показатели насыпной плотности сортов ячменя составили максимальные значения – для «Омского голозёрного 4» и «Нудум-95», средние значения – для «Суздальца» и «Inari Nutans» (Таблица 4). Данные для сортов «Омского голозёрного» и «Нудум» согласуются с аналогичными показателями ВНИИ зернобобовых и крупяных культур (Сидоренко & Наумкин, 2016).

Исследование физико-химических показателей зерна овса дало следующие результаты: максимальное содержание белка для сортов Першерон и Самсон 57, средние значения этого показателя для сортов «Скакун» и «Багет», минимальное содержание - для сорта «Багет»; максимальное содержание жира для сорта «Бекас», «Самсон 57» и «Петрович», среднее – для сорта «Першерон» и «Багет», минимальное для сорта «Скакун» (Таблица 5). Данные по содержанию белка и жира в сорте «Першерон» и «Багет» приблизительно со-

Таблица 3

Геометрические характеристики исследуемых образцов ячменя (зерно в оболочке)

Сорт	Линейные размеры, мм			Объём (V) мм ³	Площадь внешней по- верхности (F), мм ²	Сферич- ность (Ψ)	Отноше- ние V/ F, мм
	длина (l)	ширина (a)	толщина (b)				
1	2	3	4	5	6	7	8
К-30314, плёнчатый «Суздалец» Московская область	8,3±0,7	4,5±0,5	2,8±0,2	54,6±15,6	73,4±14,6	0,95±0,01	0,73±0,04
К-31125, голозёрный «Нудум 95» Челябинская область	8,0±1,0	4,5±0,5	2,3±0,2	43,8±14,7	70,9±10,5	0,82±0,06	0,60±0,12
К-30457, плёнчатый «Inari Nutans» Финляндия	7,0–9,5	4,0–5,5	1,5–3,0	21,8–81,5	45,1–97,56	0,80–0,93	0,48–0,83
Ячмень, усреднён. данные	7,0–14,6	2,0–5,0	1,4–4,5	20–40	38–60	0,76–0,83	0,45–0,65

Таблица 4.
Основные характеристики исследуемых образцов ячменя

Культура	Плотность, 10 ³ кг/м ³	Масса 1000 зерен, г	Объём 1000 зёрен, см ³	Натура, кг/м ³
1	2	3	4	5
К-30314, плёнчатый «Суздалец», Московская область	1,447	55,0	38,0	720,5
К-31125, голозёрный «Нудум 95», Челябинская область	1,476	50,2	34,0	756,9
К-31419, голозёрный «Омский голозёрный 4», Омская область	1,488	53,6	36,0	789,3
К-30457, плёнчатый «Inari Nutans», Финляндия	1,420	52,8	37,0	703,0
Ячмень, усреднённые и нормативные данные	1,3±0,1	37,5±17,5	45,5±5,0	616±70

ответствуют аналогичным показателям в исследованиях ФАНЦ Северо-Востока (Баталова & Шевченко, 2018). Исследование сортов овса подтверждает преимущество использования голозёрного овса по сравнению с плёнчатыми формами в диетическом и лечебно-профилактическом питании за счёт более высокого содержания белка и жира (Баталова, 2014).

У исследуемых сортов ячменя установлены следующие физико-химические показатели: максимальное содержание белка для сортов «Нудум-95» и «Омский голозёрный 4», средние значения этого показателя для сорта «Inari Nutans», минимальное содержание - для сорта «Суздалец»; максимальное содержание жира для сорта «Омский го-

лозёрный 4» и «Суздалец», среднее – для сорта «Нудум-95» и минимальное – для сорта «Inari Nutans» (Таблица 6).

Для производства ячменной и овсяной основы, и различных продуктов из неё (напитки, белковые аналоги творога и сыра, полуфабрикаты) предъявляются особые требования к содержанию растворимого белка и жира в зерне, поскольку, наряду с растворимыми углеводами, они составляют сухие вещества овсяной и ячневой основы, которые определяют органолептические, физико-химические показатели и питательную ценность продукта. В связи с этим предпочтение отдаётся сортам зерна с повышенным содержанием белковой и липидной составляющей.

Таблица 5
Основные физико-химические показатели исследуемых образцов овса.

Сорт	Массовая доля влаги, %	Массовая доля протеина на а.с.в., %	Массовая доля жира на а.с.в., %
1	2	3	4
К-15615, голозёрный «Бекас», Кировская область	9,04	13,05	8,23
К-15691, плёнчатый «Петрович», Краснодарский край	8,85	13,90	7,60
К-15757, голозёрный «Самсон 57», Орловская область	9,06	16,96	7,95
К-13780, плёнчатый «Скакун», Московская область	8,68	14,51	5,27
К 15275, голозёрный «Першерон», Кировская область	9,09	17,77	6,70
К-15754, Голозерный «Багет», Кировская область	7,97	15,74	6,95
Усреднённые данные	13,5	13,3	4,7

Таблица 6.

Основные физико-химические показатели исследуемых образцов ячменя.

Сорт	Массовая доля влаги, %	Массовая доля протеина на а.с.в.,%	Массовая доля жира на а.с.в., %
1	2	3	4
К-30314, плёнчатый «Суздавец», Московская Область	9,10	10,24	4,00
К-31125, голозёрный «Нудум 95», Челябинская Область	8,99	16,24	2,80
К-31419, голозёрный «Омский голозёрный 4», Омская область	9,27	14,67	5,46
К-30457, плёнчатый «Inari Nutans», Финляндия	9,10	12,26	2,33
Усреднённые данные	14,0; Не более 14,5% по ГОСТ 28672-90	13,37	2,35

Проведенное исследование позволяют рекомендовать в качестве сырья для производства овсяной основы сорта «Самсон 57» и «Першерон», содержание белка в которых доходит до 17-18% на абсолютно сухое вещество зерна, а жира – до 7-8%. При этом для зерна этих сортов характерны достаточно высокая физическая (не менее 1430 кг/м³) и насыпная (не менее 680 кг/м³) плотности (Таблица 2 и Таблица 5).

Изучение показателей отобранных сортов ячменя выявило целесообразность использования в качестве сырья для производства ячменной основы сортов «Нудум 95» и «Омский голозёрный 4», содержание белка в которых достигает 14-16% на абсолютно сухое вещество зерна, а жира – 2,8-5,5%. К тому же у зерна вышеуказанных сортов достаточно высокая физическая (не менее 1470 кг/м³) и насыпная (не менее 750 кг/м³) плотности (Таблица 4 и Таблица 6).

Выводы

В результате проведенного изучения отобраны два голозёрных сорта овса («Самсон 57» и «Першерон») и два сорта ячменя («Нудум 95» и «Омский голозёрный 4»), характеризующиеся повышенным содержанием белка и жира, повышенной плотностью и достаточным размером зёрен. Показатели отобранных голозерных сортов ячменя и овса превышают стандартные геометрические и физические показатели зерновых, зерно данных сортов обладает необходимыми биохимическими свойствами и может быть использовано как основа для разработки технологий получения белково-липидно-углеводных композиций из зернового

сырья со сбалансированным нутриентным составом для последующего использования в специализированном и массовом, в т.ч. детском питании.

Литература

- Баталова, Г. А., & Шевченко, С. Н. (2018). Некоторые результаты селекции голозерного овса для европейской территории России. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*, 20(2), 198-203.
- Баталова, Г. А. (2014). Перспективы и результаты селекции голозёрного овса. *Зернобобовые и крупяные культуры*, 2, 64-69.
- Бульон, В. В., Малышкин, К. А., Хныченко, Л. К., Гапонова, Л. В., & Лаптева, Е. Н. (1994). Фармако- и диетотерапия алиментарной дистрофии в эксперименте. В *Актуальные вопросы экспериментальной и клинической фармакологии* (с. 23-24). Смоленск: Саратовский государственный медицинский институт.
- Гаврилюк, И. П., Губарева, Н. К., Перчук, И. Н., Алпатьева, Н. В., Мартыненко, Н. М., Лоскутов, И. Г., & Красильников, В. Н. (2013). Овес в безглютеновом питании. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*, 171, 269-270.
- Гагкаева, Т. Ю., Гаврилова, О. П., Лоскутов, И. Г., Блинова, Е. В., Аникина, Л. В. (2012). Характеристика образцов овса по устойчивости к фузариозу. *Каталог мировой коллекции ВИР*, 808, 58.
- Гапонова, Л. В., Полежаева, Т. А., Матвеева, Г. А., Ловцова, Л. Б., Степанова, А. П., & Гапонова, О. М. (2013). Роль зернобобовых продуктов и масличного сырья в решении актуальности

- проблем школьного питания. *Пищевая промышленность*, 12, 24-28.
- Гапонова, Л. В., Полежаева, Т. А., Тарасова, Л. И., Тагиева, Т. Г., & Матвеева, Г. А. (2019). Основные аспекты специализированного питания детей с пищевой аллергией и непереносимостью в детском саду. В *Пища. Экология. Качество: Сборник материалов XVI Международной научно-практической конференции* (т. 1, с. 186-190). Барнаул: Алтайский государственный университет.
- Гапонова, Л. В., Полежаева, Т. А., & Матвеева, Г. А. (2019). Использование зернобобового и орехового сырья в технологии специализированных продуктов для профилактики и лечения аллергических заболеваний. *Пищевая промышленность: Наука и технологии*, 12(3), 49-55.
- Иванова, Ю. С., Лоскутов, И. Г., Фомина, М. Н., & Блинова, Е. В. (2018). Геометрическая характеристика зерна голозерных сортов овса в зоне Северного Зауралья. *Каталог мировой коллекции ВИР*, 854, 36.
- Иванова, Ю. С., Фомина, М. Н., & Лоскутов, И. Г. (2018). Биохимические показатели качества зерна у коллекционных образцов овса голозерного в условиях северной лесостепи. *Достижения науки и техники АПК*, 32(6), 38-41. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-106090>
- Исачкова, О. А., & Ганичев, Б. Л. (2012). Крупность зерна сортообразцов голозерного овса в условиях северной лесостепи кемеровской области. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*, 12, 11-14.
- Кабашов, А. Д., Лоскутов, И. Г., Власенко, Н. М., Лейбович, Я. Г., Маркова, А. С., Филоненко, З. В., & Разумовская Л. Г. (2020). Сорты овса Немчиновской селекции, включенные в Госреестр в последние годы. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*, 181(1), 110-118. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-1-110-118>
- Козлова, Г. Я., & Акимова, О. В. (2009). Сравнительная оценка голозерных и пленчатых сортов овса по основным показателям качества зерна. *Сельскохозяйственная биология*, 5, 87-89.
- Корнен, Н. Н., Викторова, Е. П., & Евдокимова, О. В. (2015). Методологические подходы к созданию продуктов здорового питания. *Вопросы питания*, 84(1), 95-99.
- Красильников, В. Н., Гаврилюк, И. П., Баталова, Г. А., Афонин, Д. В., Попов, В. С., Сергеева, С. С., Лоскутов, И. Г., & Губарева, Н. К. (2017). Пищевые волокна и авенины зерна голозерных сортов овса новой селекции. *Международный научно-исследовательский журнал*, 1, 111-116. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.55.183>
- Лоскутов, И. Г. (2007). Овес (*Avena L.*). *Распространение, систематика, эволюция и селекционная ценность*. СПб.: ВИР.
- Лоскутов, И. Г., Гагкаева, Т. Ю., Гаврилова, О. П., & Блинова, Е. В. (2016). Разнообразие культурного овса по хозяйственно ценным признакам и их связь с устойчивостью к фузариозу. *Вавиловский журнал генетики и селекции*, 20(3), 286-294. <https://doi.org/10.18699/VJ16.151>
- Лоскутов, И. Г., Шеленга, Т. В., Конарев, А. В., Варгач, Ю. И., Пороховинова, Е. А., Блинова, Е. В., Гнутиков, А. А., & Родионов, А. В. (2020). Новый подход к структурированию сортового разнообразия голозерных и пленчатых форм культурного овса (*Avena sativa L.*). *Экологическая генетика*, 18(1), 27-41. <https://doi.org/10.17816/ecogen12977>
- Сидоренко, В. С., Наумкин, Д. В., Костромичева, В. А., Старикова, Ж. В., & Ухова, Ф. В. (2016). Перспективы селекции голозерного ячменя и овса в Центральной России. *Зернобобовые и крупяные культуры*, 1, 78-83.
- Фомина, М. Н., Аверьясова, Ю. С. (2016). Геометрическая характеристика зерна голозерных сортов овса в зоне северной лесостепи Тюменской области. *Аграрная наука Северо-Востока*, 3, 4-9.
- Хныченко, Л. К., Бульон, В. В., Заводская, И. С., Сапронов, Н. С., & Гапонова, Л. В. (2000). Гепато-защитные свойства белков сои и возможность их использования в диетотерапии хронического токсического гепатита. *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины*, 3, 283-286.
- Юсова, О. А., & Васюкевич, С. В. (2014). Оценка коллекционных образцов овса по продуктивности и биохимическим показателям в условиях южной лесостепи западной Сибири. *Вестник Алтайского государственного университета*, 7, 33-37.
- Bityutskii, N., Loskutov, I., Yakkonen, K., Konarev, A., Shelenga, T., Khoreva, V., Blinova, E., & Rymin, A. (2019). Screening of *Avena sativa* cultivars for iron, zinc, manganese, protein and oil contents and fat-ty acid composition in whole grains. *Cereal Research Communication*, 48, 87-94. <https://doi.org/10.1007/s42976-019-00002-2>
- Daou, C., & Zhang, H. (2012). Oat beta-glucan: Its role in health promotion and prevention of diseases. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11(4), 355-365. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2012.00189.x>
- Koehler, P., & Wieser, H. (2013). *Chemistry of cereal grains, in handbook on sourdough biotechnology*. Springer Science and Business Media, New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5425-0_2

- Leonova, S., Gnutikov, A., Loskutov, I., Blinova, E., Gustafsson, K.-E., & Olsson, O. (2020). Diversity of avenanthramide content in wild and cultivated oats. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*, 181(1), 30-47. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-1-30-47>
- Leonova, S., Shelenga, T., Hamberg, M., Konarev, A. V., Loskutov, I., & Carlsson, A. S. (2008). Analysis of oil composition in cultivars and wild species of oat (*Avena sp.*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(17), 7983-7991. <https://doi.org/10.1021/jf800761c>
- Liu, K. (2011). Comparison of lipid content and fatty acid composition and their distribution within seeds of 5 small grain species. *Journal of Food Science*, 76(2), 334-342. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.02038.x>
- Meydani, M. (2009). Potential health benefits of avenanthramides of oats. *Nutrition Reviews*, 67(12), 731-735. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2009.00256.x>
- Pawlowska, P., Diowksz, A., & Kordialik-Bogacka, E. (2012). State of the art incorporation of oats into a gluten-free diet. *Food Reviews International*, 28(3), 330-342. <https://doi.org/10.1080/87559129.2012.660715>
- Shvachko, N. A., Loskutov, I. G., Semilet, T. V., Popov, V. S., Kovaleva, O. N., & Konarev, A. V. (2021). Bioactive components in oat and barley grain as a promising breeding trend for functional food production. *Molecules*, 26, Article 2260. <https://doi.org/10.3390/molecules26082260>
- Singh, R., De, S., & Belkheir, A. (2013). *Avena sativa* (Oat), a potential nutraceutical and therapeutic agent: an overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(2), 126-144. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.526725>
- Stewart, D., & McDougall, G. (2014). Oat agriculture, cultivation and breeding targets: implications for human nutrition and health. *British Journal of Nutrition*, 112, 50-57. <https://doi.org/10.1017/S0007114514002736>

Selection of Oats and Barley Varieties for the Production of Protein-lipid-carbohydrate Compositions with a Balanced Nutrient Composition

Lilia V. Gaponova

Vniizhirov

10 Chernyakhovsky str., Saint Petersburg, 191118

E-mail: dietotherapy@vniig.org, lilia.gaponova@yandex.ru

Tatiana A. Polezhaeva

Vniizhirov

10 Chernyakhovsky str., Saint Petersburg, 191118

E-mail: polezhaevata@yandex.ru

Galina A. Matveeva

Vniizhirov:

10 Chernyakhovsky str., Saint Petersburg, 191118

E-mail: galinamatveeva57@mail.ru

Elena V. Blinova

VIR

42-44 Bolshaya Morskaya str., Saint Petersburg, 190000

E-mail: blinova.blinovalena2015@yandex.ru

Igor G. Loskutov

VIR

42-44 Bolshaya Morskaya str., Saint Petersburg, 190000

E-mail: i.loskutov@vir.nw.ru

The special role in the technology of specialized products and baby food products belongs to grain crops, which make up a significant part of the raw materials of food and processing industry enterprises. The most promising raw materials for the production of protein-lipid compositions among grain crops are such widespread and important crops in the Russian Federation as oats and barley, due to their ability to form cost-effective, stable grain yields in a wide range of soil and climatic conditions. The genetic potential of the variety largely determines the level of yield and product quality. In this regard, the selection of naked oats and barley is relevant, which has a grain of valuable quality and is more technologically advanced in processing compared to film. The material for this study was 27 varieties of barley and oats (naked and filmy subspecies) from the world collection of the Federal Research Center of the All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N.I. Vavilov (VIR)., The geometric characteristics of the grain in barley and oat varieties were measured and calculated (linear dimensions, external surface area, sphericity, grain volume, the ratio of grain volume to the external surface area), grain characteristics related to density were determined (physical density, bulk density (nature), mass and volume of 1000 seeds); the moisture content, protein and fat in oat and barley grains were studied. As a result of the study, two naked varieties of oats ("Samson 57" and "Percheron") and two varieties of barley ("Nudum 95" and "Omsk naked 4") were selected. They were characterized by an increased protein and fat content, increased density and sufficient grain size. The indicators of the isolated naked varieties of barley and oats exceed the standard geometric and physical grain indicators and have the biochemical properties necessary to obtain protein-lipid-carbohydrate compositions from grain raw materials with a balanced nutrient composition for subsequent use in specialized and mass, including baby food.

Keywords: grain, oat, barley, selection, raw materials, functional and children food products, protein-lipid-carbohydrate compositions

Reference

- Batalova, G. A. (2014). Perspektivy i rezul'taty selektsii golozernogo ovsa [Prospects and results of naked oat breeding]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury [Legumes and Cereal Crops]*, 2, 64-69.
- Batalova, G. A., & Shevchenko, S. N. (2018). Nekotorye rezul'taty selektsii golozernogo ovsa dlya evropeiskoi territorii Rossii [Some results of naked oat breeding for the European territory of Russia]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]*, 20(2), 198-203.
- Bul'on, V. V., Malyshkin, K. A., Khnychenko, L. K., Gaponova, L. V., & Lapteva, E. N. (1994). Farmakoi dietoterapiya alimentarnoi distrofii v eksperimente [Pharmaco- and diet therapy of alimentary dystrophy in experiment]. In *Aktual'nye voprosy eksperimental'noi i klinicheskoi farmakologii [Topical issues of experimental and clinical pharmacology]* (pp. 23-24). Smolensk: Saratovskii gosudarstvennyi meditsinskii institut.
- Fomina, M. N., Aver'yasova, Yu. S. (2016). Geometricheskaya kharakteristika zerna golozernykh sortov ovsa v zone severnoi lesostepi Tyumenskoi oblasti [Geometrical characteristics of the grain of naked oat varieties in the zone of the northern forest-steppe of the Tyumen region]. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka [Agricultural science of the Euro-North-East]*, 3, 4-9.
- Gagkaeva, T. Yu., Gavrilova, O. P., Loskutov, I. G., Blinova, E. V., Anikina, L. V. (2012). Kharakteristika obraztsov ovsa po ustoychivosti k fuzariozu [Characteristics of oat samples for resistance to Fusarium]. *Katalog mirovoi kolleksii VIR [Catalog of the world collection All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N. I. Vavilov]*, 808, 58.
- Gaponova, L. V., Polezhaeva, T. A., Tarasova, L. I., Tagieva, T. G., & Matveeva, G. A. (2019). Osnovnye aspekty spetsializirovannogo pitaniya detei s pishchevoi allergiei i neperenosimost'yu v detskom sadu [The main aspects of specialized nutrition for children with food allergies and intolerances in kindergarten]. In *Pishcha. Ekologiya. Kachestvo: Sbornik materialov XVI Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [Food. Ecology. Quality: Proceedings of the XVI International Scientific and Practical Conference]* (vol. 1, pp. 186-190). Barnaul: Altaiskii gosudarstvennyi universitet.
- Gaponova, L. V., Polezhaeva, T. A., & Matveeva, G. A. (2019). Ispol'zovanie zernobobovogo i orekhovogo syr'ya v tekhnologii spetsializirovannykh produktov dlya profilaktiki i lecheniya allergicheskikh zabolevanii [The use of leguminous and nut raw materials in the technology of specialized products for the prevention and treatment of allergic diseases]. *Pishchevaya promyshlennost': Nauka i tekhnologii [Food Industry: Science and Technology]*, 12(3), 49-55.
- Gaponova, L. V., Polezhaeva, T. A., Gaponova, O. M., & Matveeva, G. A. (2014). Bezlaktoznye bezglyutenovye produkty na zernobobovoi osnove dlya pitaniya lyudei s tseliakiei i laktoznoi nedostatochnost'yu [Lactose-free, gluten-free, legume-based foods for people with celiac disease and lactose intolerance]. *Eksperimental'naya i klinicheskaya gastroenterologiya [Experimental and Clinical Gastroenterology]*, 105(5), 47-48.
- Gaponova, L. V., Polezhaeva, T. A., Matveeva, G. A., & Lisitsyn, D. A. (2017). Deserty na zernobobovoi osnove v pitanii bol'nykh s neperenosimost'yu komponentov korov'ego moloka i tseliakiei [Desserts based on legumes in the nutrition of patients with intolerance to cow's milk components and celiac disease]. *Gastroenterologiya Sankt-Peterburga [Gastroenterology of St. Petersburg]*, 1, 72-72b.
- Gaponova, L. V., Polezhaeva, T. A., Matveeva, G. A., Lovtsova, L. B., Stepanova, A. P., & Gaponova, O. M. (2013). Rol' zernobobovykh produktov i maslichnogo syr'ya v reshenii aktual'nosti problem shkol'nogo pitaniya [The role of leguminous products and oilseeds in solving the urgency of school meals]. *Pishchevaya promyshlennost' [Food Industry]*, 12, 24-28.
- Gaponova, L. V., Polezhaeva, T. A., Volotovskaya, N. V., Kuz'min, A. L., & Matveeva, G. A. (2006). Kontsentraty na osnove zlakovykh dlya lechebnogo pitaniya detei i vzroslykh, stradayushchikh neperenosimost'yu korov'ego moloka [Cereal-based concentrates for therapeutic nutrition of children and adults suffering from cow's milk intolerance]. *Gastroenterologiya Sankt-Peterburga [Gastroenterology of St. Petersburg]*, 1-2, 31.
- Gaponova, L. V., Polezhaeva, T. A., Zabolalova, L. A., Volotovskaya, N. V., & Kuz'min, A. L. (2005). Adaptirovannye spetsializirovannye smesi s izolyatom soevogo belka v pitanii detei s pishchevoi neperenosimost'yu [Adapted specialized formulas with soy protein isolate in the nutrition of children with food intolerance]. *Gastroenterologiya Sankt-Peterburga [Gastroenterology of St. Petersburg]*, 1-2, 28.
- Gavrilyuk, I. P., Gubareva, N. K., Perchuk, I. N., Alpat'eva, N. V., Martynenko, N. M., Loskutov, I. G., & Krasil'nikov, V. N. (2013). Oves v bezglyutenovom pitanii [Oats in a gluten-free diet]. *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii [Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding]*, 171, 269-270.
- Isachkova, O. A., & Ganichev, B. L. (2012). Krupnost' zerna sortoobraztsov golozernogo ovsa v uslovi-

- yakh severnoi lesostepi kemerovskoi oblasti [Grain size of bare-grained oat varieties in the conditions of the northern forest-steppe of the Kemerovo region]. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Altai State Agrarian University], 12, 11-14.
- Ivanova, Yu. S., Fomina, M. N., & Loskutov, I. G. (2018). Biokhimicheskie pokazateli kachestva zerna u kolleksiionnykh obraztsov ovsa golozer-nogo v usloviyakh severnoi lesostepi [Biochemical indicators of grain quality in collection samples of naked oats in the conditions of the northern forest-steppe]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology of the agro-industrial complex], 32(6), 38-41. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-106090>
- Ivanova, Yu. S., Loskutov, I. G., Fomina, M. N., & Blinova, E. V. (2018). Geometricheskaya kharakteristika zerna golozer-nykh sortov ovsa v zone Severnogo Zaural'ya [Geometric characteristics of the grain of naked oat varieties in the zone of the Northern Trans-Urals]. *Katalog mirovoi kollekt-sii VIR* [Catalog of the world collection All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N. I. Vavilov], 854, 36.
- Kabashov, A. D., Loskutov, I. G., Vlasenko, N. M., Leibovich, Ya. G., Markova, A. S., Filonenko, Z. V., & Razumovskaya L. G. (2020). Sorta ovsa Nemchinovskoi selektsii, vklyuchennye v Gosreestr v poslednie gody [Oat varieties of Nemchinov breeding, included in the State Register in recent years]. *Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii* [Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding], 181(1), 110-118. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-1-110-118>
- Khnychenko, L. K., Bul'on, V. V., Zavodskaya, I. S., Saponov, N. S., & Gaponova, L. V. (2000). Gepato-zashchitnye svoystva belkov soi i vozmozhnost' ikh ispol'zovaniya v dietoterapii khronicheskogo toksicheskogo gepatita [Hepato-protective properties of soy proteins and the possibility of their use in the diet therapy of chronic toxic hepatitis]. *Byulleten' eksperimental'noi biologii i meditsiny* [Bulletin of Experimental Biology and Medicine], 3, 283-286.
- Kornen, N. N., Viktorova, E. P., & Evdokimova, O. V. (2015). Metodologicheskie podkhody k sozdaniyu produktov zdorovogo pitaniya [Methodological approaches to the creation of healthy food products]. *Voprosy pitaniya* [Nutrition Issues], 84(1), 95-99.
- Kozlova, G. Ya., & Akimova, O. V. (2009). Sravnitel'naya otsenka golozer-nykh i plenchatykh sortov ovsa po osnovnym pokazatelyam kachestva zerna [Comparative evaluation of naked and filmy varieties of oats according to the main indicators of grain quality]. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya* [Agricultural Biology], 5, 87-89.
- Krasil'nikov, V. N., Gavrilyuk, I. P., Batalova, G. A., Afonin, D. V., Popov, V. S., Sergeeva, S. S., Loskutov, I. G., & Gubareva, N. K. (2017). Pishchevye volokna i aveniny zerna golozer-nykh sortov ovsa novoi selektsii [Dietary fibers and avenins in grains of naked oat varieties of a new selection]. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal* [International Research Journal], 1, 111-116. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.55.183>
- Loskutov, I. G. (2007). Oves (*Avena L.*). *Rasprostranenie, sistematika, evolyutsiya i selektsionnaya tsennost'* [Distribution, taxonomy, evolution and breeding value]. S-Petersburg: VIR.
- Loskutov, I. G., Gagkaeva, T. Yu., Gavrilova, O. P., & Blinova, E. V. (2016). Raznoobrazie kul'turnogo ovsa po khozyaistvenno tsennym priznakam i ikh svyaz' s ustoichivost'yu k fuzariozu [Variety of cultivated oats according to economically valuable traits and their relationship with resistance to Fusarium]. *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii* [Vavilov Journal of Genetics and Breeding], 20(3), 286-294. <https://doi.org/10.18699/VJ16.151>
- Loskutov, I. G., Shelenga, T. V., Konarev, A. V., Vargach, Yu. I., Porokhvinova, E. A., Blinova, E. V., Gnutikov, A. A., & Rodionov, A. V. (2020). Novyi podkhod k strukturirovaniyu sortovogo raznoobraziya golozer-nykh i plenchatykh form kul'turnogo ovsa (*Avena sativa L.*) [A new approach to structuring the varietal diversity of naked and filmy forms of cultivated oats (*Avena sativa L.*)]. *Ekologicheskaya genetika* [Environmental Genetics], 18(1), 27-41. <https://doi.org/10.17816/ecogen12977>
- Sidorenko, V. S., Naumkin, D. V., Kostromicheva, V. A., Starikova, Zh. V., & Ukhova, F. V. (2016). Perspektivy selektsii golozer-nogo yachmenya i ovsa v Tsentral'noi Rossii [Prospects for selection of naked barley and oats in Central Russia]. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* [Legumes and Cereal Crops], 1, 78-83.
- Yusova, O. A., & Vasyukevich, S. V. (2014). Otsenka kolleksiionnykh obraztsov ovsa po produktivnosti i biokhimicheskim pokazatelyam v usloviyakh yuzhnoi lesostepi zapadnoi Sibiri [Evaluation of collection samples of oats in terms of productivity and biochemical parameters in the conditions of the southern forest-steppe of Western Siberia]. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Altai State University], 7, 33-37.
- Bityutskii, N., Loskutov, I., Yakkonen, K., Konarev, A., Shelenga, T., Khoreva, V., Blinova, E., & Rymin, A. (2019). Screening of *Avena sativa* cultivars for iron, zinc, manganese, protein and oil contents and fat-ty acid composition in whole grains. *Cereal*

- Research Communication*, 48, 87-94. <https://doi.org/10.1007/s42976-019-00002-2>
- Daou, C., & Zhang, H. (2012). Oat beta-glucan: Its role in health promotion and prevention of diseases. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11(4), 355-365. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2012.00189.x>
- Koehler, P., & Wieser, H. (2013). *Chemistry of cereal grains, in handbook on sourdough biotechnology*. Springer Science and Business Media, New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5425-0_2
- Leonova, S., Gnutikov, A., Loskutov, I., Blinova, E., Gustafsson, K.-E., & Olsson, O. (2020). Diversity of avenanthramide content in wild and cultivated oats. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding*, 181(1), 30-47. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-1-30-47>
- Leonova, S., Shelenga, T., Hamberg, M., Konarev, A. V., Loskutov, I., & Carlsson, A. S. (2008). Analysis of oil composition in cultivars and wild species of oat (*Avena sp.*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(17), 7983-7991. <https://doi.org/10.1021/jf800761c>
- Liu, K. (2011). Comparison of lipid content and fatty acid composition and their distribution within seeds of 5 small grain species. *Journal of Food Science*, 76(2), 334-342. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.02038.x>
- Meydani, M. (2009). Potential health benefits of avenanthramides of oats. *Nutrition Reviews*, 67(12), 731-735. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2009.00256.x>
- Pawlowska, P., Diowksz, A., & Kordialik-Bogacka, E. (2012). State of the art incorporation of oats into a gluten-free diet. *Food Reviews International*, 28(3), 330-342. <https://doi.org/10.1080/87559129.2012.660715>
- Shvachko, N. A., Loskutov, I. G., Semilet, T. V., Popov, V. S., Kovaleva, O. N., & Konarev, A. V. (2021). Bioactive components in oat and barley grain as a promising breeding trend for functional food production. *Molecules*, 26, Article 2260. <https://doi.org/10.3390/molecules26082260>
- Singh, R., De, S., & Belkheir, A. (2013). *Avena sativa* (Oat), a potential nutraceutical and therapeutic agent: an overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(2), 126-144. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.526725>
- Stewart, D., & McDougall, G. (2014). Oat agriculture, cultivation and breeding targets: implications for human nutrition and health. *British Journal of Nutrition*, 112, 50-57. <https://doi.org/10.1017/S0007114514002736>

Генерация альтернативной энергии в производстве хлебобулочных изделий с применением теплового насоса

Дранников Алексей Викторович

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

Адрес: 394036, Россия, г. Воронеж, пр-т Революции, д. 19

E-mail: drannikov@list.ru

Тертычная Татьяна Николаевна

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет им. Петра I»

Адрес: 394087, Россия, г. Воронеж, ул. Мичурина, д. 1

E-mail: tertychnaya777@yandex.ru

Шевцов Александр Анатольевич

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

Адрес: 394036, Россия, г. Воронеж, пр-т Революции, д. 19

E-mail: shevalol@rambler.ru

Засыпкин Никита Владимирович

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

Адрес: 394036, Россия, г. Воронеж, пр-т Революции, д. 19

E-mail: zvnikita24@gmail.com

Развитие альтернативной энергетики открывает реальные перспективы в применении тепловых насосов в различных отраслях промышленности. Одновременное получение тепла и холода посредством тепловых насосов основано на использовании низкопотенциальной энергии, которая в значительных объемах сбрасывается в атмосферу. В этой связи внедрение теплонасосных технологий в производство хлебобулочных изделий позволит создать условия для экономии энергетических затрат и снизить влияние негативных факторов на экологическую безопасность. В работе обосновано энергоэффективное вовлечение двухступенчатого парокомпрессионного теплового насоса в технологическую схему, обеспечивающего повышение термодинамического совершенства сложной теплотехнологической системы. В качестве рабочих тел для первой ступени выбран фреон R600a, для второй ступени использована вода R718. Сопряжение ступеней осуществляется через конденсатор-испаритель, который для ступени низкого давления является конденсатором, а для ступени высокого давления испарителем. Установлены режимы функционирования теплового насоса для подготовки высокопотенциального и низкопотенциального теплоносителя для реализации энергоемких процессов расстойки, выпечки и охлаждения тестовых заготовок. Построены термодинамические диаграммы для фреона R600a и воды R718 наглядно отражающие рабочие циклы ступеней теплового насоса. В соответствии с методологией эксергетического анализа технология разбита на семь контрольных поверхностей, между которыми установлен обмен материальными и энергетическими потоками. По методике Бродянского В.М. выполнен эксергетический анализ, построена эксергетическая диаграмма Грассмана-Шаргута, свидетельствующие о повышении эксергетического КПД технологии получения хлебобулочных изделий с применением теплового насоса.

Ключевые слова: хлебобулочные изделия, теплонасосная технология, двухступенчатый парокомпрессионный тепловой насос, эксергетический анализ

Введение

В структуре себестоимости хлебобулочных изделий энергетические затраты составляют до 30 % и более (Ауэрман, 2005; Цыганова, 2014; Пашенко & Жаркова, 2008; Гаранина, 2018). Увеличение энергетических затрат на производство хлебобулоч-

ных изделий, связанных с непрерывным ростом цен на энергоносители ставят перед хлебопекарными предприятиями новые задачи по энергосбережению и поиску инновационных решений в снижении себестоимости выпускаемой продукции (Тенденция формирования хлебопекарного рынка России в 2010-2020 гг., 2021).

В поле зрения специалистов отрасли и ученых профильных вузов всегда остаются актуальные вопросы повышения энергоэффективности производства хлебобулочных изделий, которые в настоящее время решаются на основе принципов энергосбережения, в том числе и за счет внедрения энергосберегающих теплонасосных технологий и рециркуляционных схем на их основе (Chicherin, 2018a; Chicherin, 2018b).

Генерация возобновляемой энергии с использованием тепловых насосов составляет одно из основных направлений современных исследований в области развития альтернативной энергетики (Алексеевко, 2009; Горшков, 2004; Chicherin, 2018a; Chicherin, 2018b).

Возможности подключения тепловых насосов для генерации альтернативной энергии в тепловых и теплообменных процессах пищевой и химической технологии обоснованы в работах (Бритиков & Шевцов, 2012; Остриков и др., 2020; Шевцов и др., 2018; Шевцов и др., 2019).

Многочисленные исследования показали преимущества парокompрессионных двухступенчатых тепловых насосов (ПКТН), которые обеспечивают получение высокой температуры теплоносителей в технологическом процессе (Елистратов & Накоряков, 2007a; Елистратов & Накоряков, 2007b; Елистратов & Накоряков, 2008; Елистратов, 2009).

Цель работы – разработка теплонасосной технологии хлебобулочных изделий с использованием двухступенчатого парокompрессионного теплового насоса (ПКТН).

Материалы и методы исследования

Методы

Предложен методологический подход к организации и формированию энергоэффективной технологической хлебобулочных изделий на основе принципов энергосбережения, основанных на рекуперации и утилизации вторичных энергоресурсов с возвратом

низкопотенциальной энергии в тепловые и теплообменные процессы посредством теплового насоса. При разработке теплонасосной технологии хлебобулочных изделий использован балансовый метод распределения энергии в замкнутых термодинамических циклах по материальным и тепловым потокам в сочетании с комплексно-энергетическим подходом, подкрепленным методом эксергетического анализа при оценке термодинамического совершенства предлагаемой технологии.

Использование двухступенчатого ПКТН в технологии хлебобулочных изделий

На основании анализа накопленного опыта по эффективному замещению в системах теплоснабжения невозобновляемых источников энергии на теплоту возобновляемых и вторичных энергоресурсов посредством ТН^{1,2,3} предложена теплонасосная технология хлебобулочных изделий (Рисунок 1).

Особенностью технологического потока является применение хлебопекарной печи с секционной обогревающей рубашкой фирмы ThermoRoll. Хлебопекарная печь ThermoRoll – это современная сквозная ленточная печь в термомаляном исполнении с программируемым управлением всех функций. В такой печи в качестве высокотемпературного теплоносителя применяется специальное масло, которое подогревается до заданной температуры и с помощью маслонасоса перекачивается к нагревательным панелям, установленных в печи. Тепловое излучение нагревательных панелей при подаче воды обеспечивает необходимые термовлажностные условия в каждой секции по длине ленты, на которой располагаются тестовые заготовки^{1,2,3}.

В процессе выпечки осуществляется утилизация парообразующейся смеси, которая отводится из каждой секции термомаляной печи в теплообменник-рекуператор 15, охлаждается и методом отгонки разделяется на воду и этиловый спирт.

Разработан способ управления теплонасосной технологией в области допустимых технологиче-

¹ Шевцов, А. А., Ткач, В. В., Тертычная, Т. Н., & Сердюкова, Н. А. (2019). *Способ управления процессом переработки масличных семян в биодизельное топливо* (Патент РФ 2693046). Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова. <https://patents.google.com/patent/RU2693046C1/ru>

² Четверикова, И. В., Шевцов, А. А., Ткач, В. В., & Сердюкова, Н. А. (2019). *Способ комплексной переработки семян сои с выделением белоксодержащих фракций* (Патент РФ 2689672). Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова. <https://patents.google.com/patent/RU2689672C1/ru>

³ Чертов, Е. Д., Чешинский, В. Л., Магомедов, Г. О., Шевцов, А. А., Пономарева, Е. И., & Одинцова, А. В. (2017). *Способ производства хлебобулочных изделий* (Патент РФ 2613283). Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова. <https://patent.ru/patent/RU2689672C1>

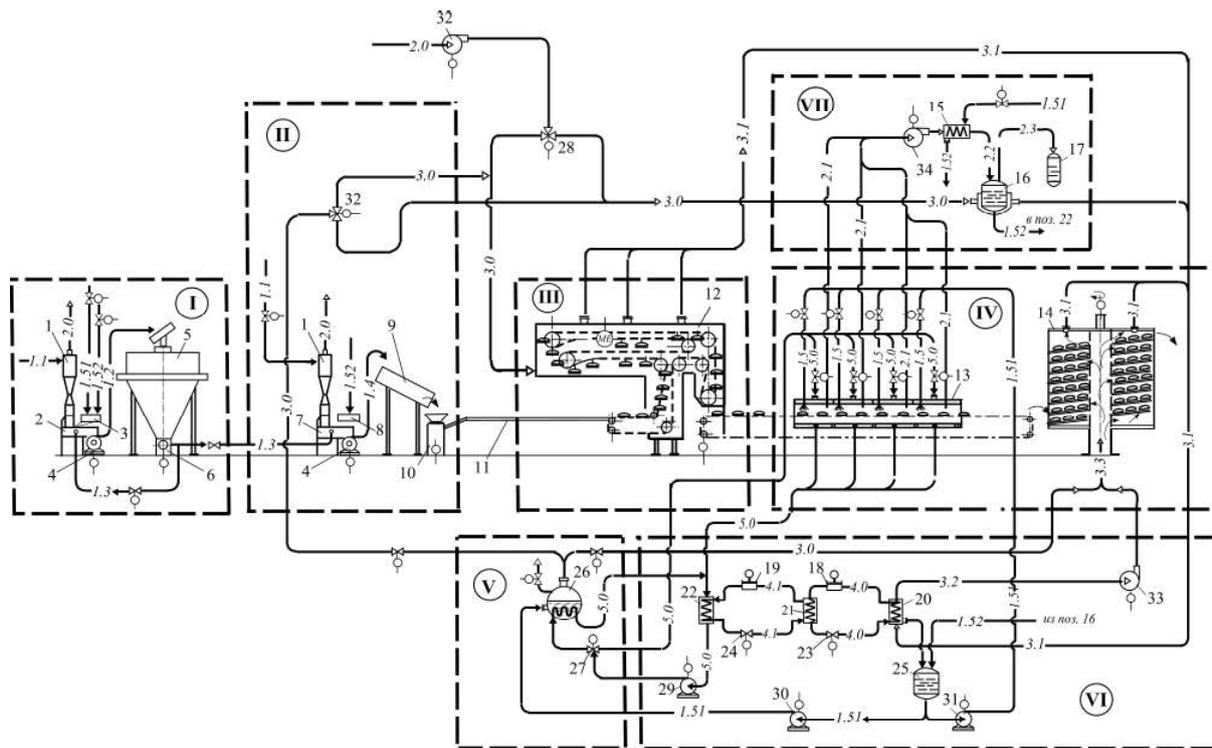


Рисунок 1. Теплонасосная технология хлебобулочных изделий

1, 6; машины тестомесильные 2, 7; дозировочные станции 3, 8; нагнетатель 4; бункер для брожения 5; корыто Рабиновича 9; тестоделитель 10; округлитель 11; расстойный шкаф 12; термомасляную поточную туннельную печь 13 с секционной обогревающей панелью и форсунками для впрыска воды; кулер конвективного охлаждения хлебобулочных изделий 14; конденсатор-рекуператор 15; теплообменный аппарат 16 с греющей рубашкой для разделения собранного конденсата методом отгонки на воду и спирт; сборник 17; двухступенчатый ПКТН, включающий компрессоры 18 и 19 соответственно первой и второй ступени, испаритель 20, конденсатор-испаритель 21, конденсатор 22, терморегулирующие вентили 23 и 24 соответственно первой и второй ступени; сборник конденсата 25; парогенератор 26; распределители потоков 27, 28; масляный насос 29; насосы 30, 31; вентиляторы 32, 33, 34; потоки: 1.1 – муки; 1.2 – закваски; 1.3 – выброженной закваски; 1.4 – замешанной закваски; 1.5 – воды; 1.51 – горячей воды; 1.52 – холодной воды; 2.0 – воздуха; 2.1 – паробразующей смеси; 2.2 – конденсата; 2.3 – спирта; 3.0 – насыщенного пара; 3.1 – отработанной паровоздушной смеси; 3.2 – охлажденной и осушенной паровоздушной смеси; 3.3 – паровоздушной смеси; 4.0, 4.1 – хладагента первой и второй ступени теплового насоса; 5.0 – термомасла.

ских свойств получаемых хлебобулочных изделий. В соответствии с программно-логическим алгоритмом сигналы отклонения текущих значений технологических параметров от заданных значений используются для оперативного управления технологией в целом⁴.

Регулирование технологических параметров в процессах расстойки, выпечки и охлаждения (Таблица 1) осуществляется в интервале заданных значений в соответствии с технологическими инструкциями⁵.

Для подготовки теплоносителей в замкнутых термодинамических циклах используется масло в

качестве промежуточного теплоносителя для получения насыщенного пара в парогенераторе 26 и в качестве основного высокопотенциального энергоносителя, подаваемого в секционную обогревающую панель термомасляной печи 13.

Эксергетический анализ технологии хлебобулочных изделий

Эксергетический анализ выполнялся для линии производства хлебобулочных изделий производительностью 0,8–1,2 т/ч. Линия включала циклон-разгрузитель, машины тестомесильные А2-ХТТ для замеса закваски и теста; дозировочную станцию СДМ-4М; лопастной нагнетатель;

⁴ Шевцов, А. А., Тергычная, Т. Н., Куликов, С. С., Дранников, А. В., & Засыпкин, Н. В. (2020). *Способ управления технологией получения хлебобулочных изделий* (Патент РФ 2758516). Воронежский государственный университет инженерных технологий. https://yandex.ru/patents/doc/RU2758516C1_20211029

⁵ *Сборник технологических инструкций для производства хлеба и хлебобулочных изделий*. (1989). М.: Прескурантиздат.

Таблица 1
Заданные значения регулируемых параметров

Параметры	Наименование хлеба	
	дарницкий подовый	украинский новый подовый
Температура, °С:		
в расстойном шкафу	38 ± 0,5	39 ± 0,5
в первой зоне выпечки	110 ± 0,5	118 ± 0,5
во второй зоне выпечки	180 ± 0,5	187 ± 0,5
в третьей зоне выпечки	230 ± 0,5	238 ± 0,5
в четвертой зоне выпечки	150 ± 0,5	170 ± 0,5
в кулере конвективного охлаждения	15 ± 0,5	16 ± 0,5
термомасла после конденсатора	260 ± 0,5	280 ± 0,5
Относительная влажность паровоздушной смеси, %:		
в расстойном шкафу	77,0 ± 2,5	78,0 ± 2,5
в первой зоне выпечки	77,5 ± 2,5	78,5 ± 2,5
во второй зоне выпечки	77,5 ± 2,5	78,5 ± 2,5
в третьей зоне выпечки	77,5 ± 2,5	78,5 ± 2,5
в четвертой зоне выпечки	77,5 ± 2,5	78,5 ± 2,5
в кулере конвективного охлаждения	60,5 ± 2,5	65,5 ± 2,5

бункер для брожения закваски И8-ХТА-12/2; дозатор закваски И8-ХТА-12/4; дозировочную станцию СДМ5; емкость для брожения теста И8-ХТА-12/6; тестоделитель «Кузбасс-68-2М»; ленточный округлитель; шкаф окончательной расстойки Т1-ХРЗ-120; термомасляную поточную четырехсекционную туннельную печь фирмы ThermoRol; кулер для конвективного охлаждения хлебобулочных изделий КВЛ-1.

Энергоэффективные режимы технологических операций в области допустимых свойств получаемой хлебной продукции осуществлялись с помощью двухступенчатого парокompрессионного теплового насоса (Таблица 2).

Термодинамические циклы ступеней ПКТН обеспечивали реализацию заданных термовлажностных режимов процессов расстойки, выпечки и охлаждения тестовых заготовок (Рисунок 2).

Использование воды как наилучшего хладагента для второй ступени ПКТН имеет существенные преимущества. Сжатие водяных паров до высоких

температур обеспечивалось в многоступенчатом центробежном компрессоре типа Рутс (Chamoun et al., 2012).

Методика расчета эксергетических потерь

Расчет эксергии каждого материального и энергетического потока осуществлялся по методике⁶ Бродянского (Бродянский и др., 1988), в соответствии с моделью окружающей среды Шаргута (Шаргут & Петела, 1968) по схеме обмена потоками между контрольными поверхностями (Рисунок 3).

Технологическая система условно отделена от окружающей среды замкнутыми контрольными поверхностями: I – подготовки жидкой закваски, II – подготовки теста, III – расстойки тестовых заготовок, IV – выпечки и охлаждения тестовых заготовок; V - получения пара в парогенераторе; VI – подготовки термомасла в двухступенчатом каскадном парокompрессионном тепловом насосе; VII - конденсации парообразующей смеси в процессе выпечки и ее разделение методом отгонки на воду и спирт (Рисунок 1).

Таблица 2
Параметры двухступенчатого парокompрессионного теплового насоса

Рабочее тело первой ступени (хладагент)	Фреон R600a
Температурой кипения в испарителе первой ступени, °С	минус 12
Коэффициент теплопередачи в испарителе, кВт/(м ² ·°С)	5,8-8,0
Температура конденсации в конденсаторе-испарителе, °С	110 - 120
Коэффициент теплопередачи в конденсаторе, кВт/(м ² ·°С)	2,2-3,5
Компрессор первой ступени	ФВБС6
Мощность электродвигателя компрессора первой ступени, кВт	4,2-4,5
Рабочее тело второй ступени (хладагент)	R718 (вода)
Температура кипения в конденсаторе-испарителе, °С	100
Температура конденсации в конденсаторе второй ступени, °С	260-280
Компрессор второй ступени	Cross Air
Мощность электродвигателя компрессора второй ступени, кВт	7,5-8,2

⁶ Бродянский, В. М., Верховикер, Г. П., Дубовской, С. В., Карчев, Я. Я., Лейтес, И. Л., Максимова, Т. В., Никитин, Д. Г., Нестеров, Б. П., Оносовский, В. В., Прохоров, В. И., Шилкопер, С. М., Сорин, М. В., Щеголев, Г. М., Хлебакин, Ю. М., Попов, А. И., & Янговский, Я. И. (1991). *Эксергетические расчеты технических систем. Справочное пособие*. Киев: Наукова Думка.

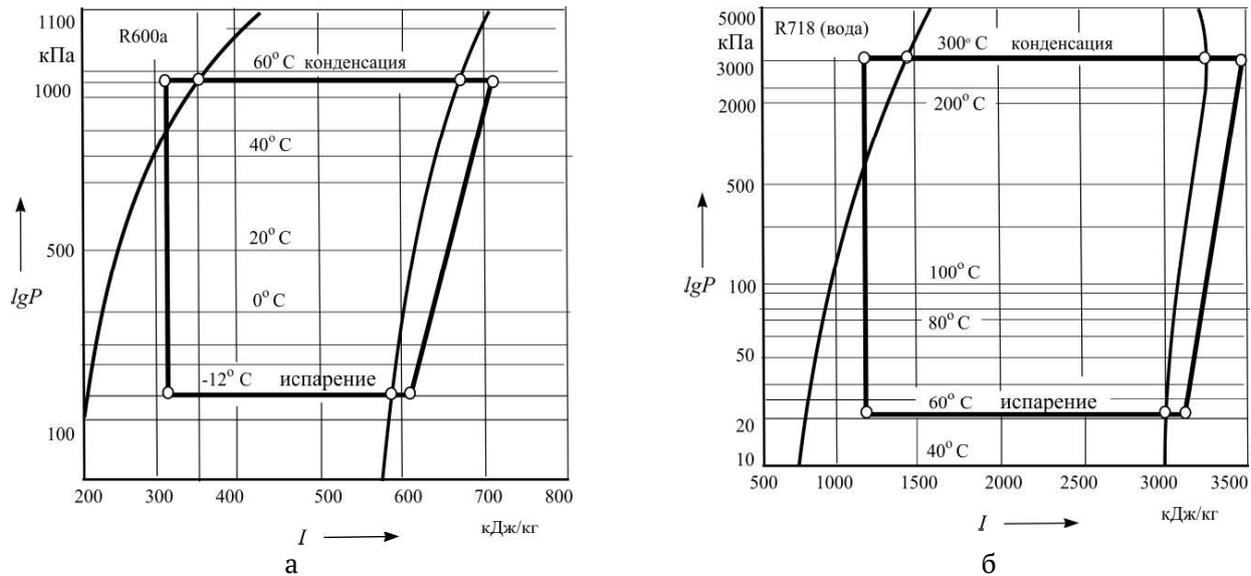


Рисунок 2. Термодинамические циклы в диаграмме lgP - I : а – первой ступени теплового насоса (R600a); б – второй ступени (R718); P – давление, кПа; I – энтальпия, кДж/кг

В качестве абсолютного эксергетического параметра, используемого в расчетах, выбрана эксергетическая мощность P_e , кДж/ч, учитывающая энергию материальных и тепловых потоков. Изменение эксергии по каждой контрольной поверхности технологической системы, состоящей из классических необратимых процессов с течением времени, определялась по формуле⁷.

$$\sum_{(i=1)}^n E_i^э = \sum_{(k=1)}^l E_k^э + \sum_{(j=1)}^m D_j, \quad (1)$$

где $\sum_{(i=1)}^n E_i^э$ – суммарная эксергия вводимых в контрольную поверхность материальных и энергетических потоков; $\sum_{(k=1)}^l E_k^э$ – суммарная эксергия выводимых из контрольной поверхности полезных материальных и энергетических потоков; $\sum_{(j=1)}^m D_j = T_o \Delta S$ – суммарные эксергетические потери (уравнение Гюи-Стодолы); $i = (\overline{1;n})$ – количество вводимых материальных и энергетических потоков; $k = (\overline{1;l})$ – количество выходящих полезных потоков; $j = (\overline{1;m})$ – количество эксергетических потерь.

Распределение потоков и их обозначение (Таблица 3) легли в основу расчета эксергетического КПД и построения эксергетической диаграммы Грассмана-Шаргута.

Соотношение (1) для рассматриваемой технологической линии представлено в следующем виде:

$$E_1 + E_2 + \Sigma E^{эп} = E_3 + E_4 + E_5 + \Sigma D^i + \Sigma D^e, \quad (2)$$

где слагаемые этого уравнения – эксергетическая мощность (кДж/ч): исходной муки E_1 , компонентов E_2 , суммарная эксергия, вводимая в систему с электроэнергией для работы приводов машин; эксергетическая мощность, выводимая из системы с готовыми хлебобулочными изделиями E_3 , с водой E_4 , и воздухом пневмотранспорта E_5 ; сумма потерь эксергии в результате необратимости процессов, происходящих внутри контрольной поверхности ΣD^i ; сумма потерь эксергии во внешнюю среду ΣD^e .

Уравнение (2) отражает изменение эксергии теплотехнологической системы за счет ввода паровоздушной смеси в расстойный шкаф и кулер конвективного охлаждения готовых хлебобулочных изделий, подвода электроэнергии к приводам насосов, вентиляторов и компрессоров двухступенчатого парокompрессионного теплового насоса; покрытия потерь, возникающих вследствие необратимости процессов получения закваски, муки, расстойки, выпечки, рекуперативного теплообмена при конденсации парообразующейся смеси, ее разделение методом отгонки на воду и другие компоненты, в том числе этиловый спирт; изменения теплофизических свойств промежуточных продуктов; компенсации потерь, обусловленных действием окружающей среды.

Эксергия вводимых в систему внешних материальных потоков: исходной муки и компонентов $E_1^н$

⁷ Там же.

Таблица 3
Эксергия энергетических и материальных потоков

№ потоков	Наименование потока	E, кДж/ч
1	Мука	0
2	Замешанная закваска	0
3	Горячая вода	8496
4	Электроэнергия привода тестомесильной машины для замеса опары	19800
5	Электроэнергия привода дозатора дозировочной станции	5400
6	Электроэнергия привода мешалки бункера для брожения закваски	10800
7	Электроэнергия привода нагнетателя опары	7200
8	Электроэнергия привода вентилятора подачи воздуха в циклон-разгрузитель	10800
9	Выброженная закваска	52568
10	Воздух пневмотранспорта из циклона-разгрузителя	0
11	Мука	0
12	Холодная вода	0
13	Воздух пневмотранспорта в циклон -разгрузитель	0
14	Электроэнергия привода тестомесильной машины для замеса теста	14400
15	Электроэнергия привода дозатора закваски	5400
16	Электроэнергия привода лопастного нагнетателя теста	5400
17	Электроэнергия привода тестоделителя	10800
18	Электроэнергия привода ленточного округлителя	39600
19	Электроэнергия привода посадчика заготовок в люльки расстойного шкафа	5400
20	Замешанное тесто	89280
21	Тестовые заготовки после округлителя	17856
22	Воздух после циклона-разгрузителя	0
23	Пар на подготовку паровоздушной смеси в расстойный шкаф	33457
24	Воздух на получение паровоздушной смеси	0
25	Паровоздушная смесь в расстойный шкаф	31248
26	Электроэнергия привода конвейера расстойного шкафа	5400
27	Электроэнергия привода нагнетающего вентилятора	10800
28	Тестовые заготовки после расстойки	62496
29	Отработанная паровоздушная смесь	6570
30	Термомасло в термомаляную поточную туннельную печь	267840
31	Вода на увлажнение тестовых заготовок при выпечке	0
32	Электроэнергия привода конвейера термомаляной поточной туннельной печи	19800
33	Термомасло из термомаляной поточной туннельной печи	124992
34	Парообразующая смесь в процессе выпечки	535568
35	Готовые хлебопекарные изделия	17556
36	Термомасло в змеевик парогенератора	132774
37	Конденсат в парогенератор	52570
38	Термомасло из змеевика парогенератора	124992
39	Термомасло в термомаляную печь	267840
40	Электроэнергия я привода компрессора первой ступени	16200
41	Электроэнергия я привода компрессора второй ступени	29520
42	Электроэнергия я привода маслонасоса	23400
43	Электроэнергия вентилятора рециркуляции охлаждаемой паровоздушной смеси	5400
44	Пар на подготовку паровоздушной смеси в аппарат для отгонки спирта	58420
45	Воздух на получение паровоздушной смеси	0
46	Паровоздушная смесь на отгонку спирта	53568
47	Электроэнергия привода вентилятора отвода парообразующей смеси	5400
48	Холодная вода на конденсацию парообразующей смеси	0
49	Отработанная вода	350
50	Вода после отгонки паров избыточного спирта из парообразующей смеси	520
51	Отработанная паровоздушная смесь	26784

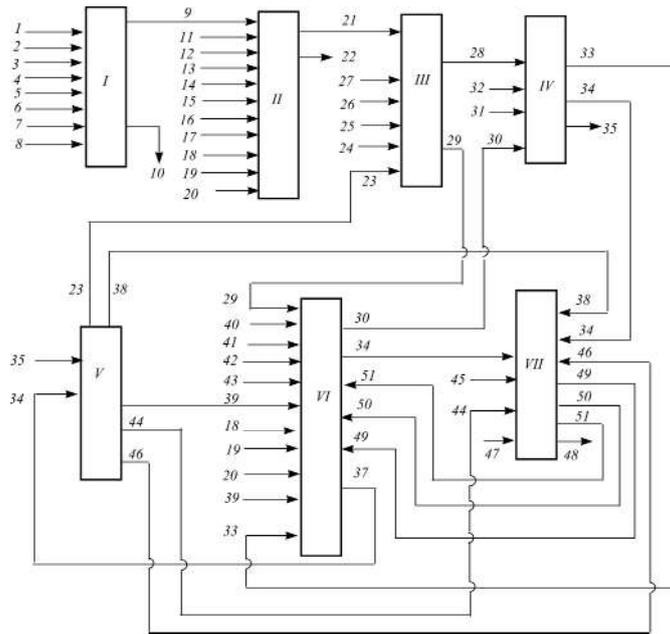


Рисунок 3. Схема обмена потоками между контрольными поверхностями

транспортирующего воздуха E_1^H , находящихся в термодинамическом равновесии с окружающей средой, равна нулю, поэтому исключалась из баланса.

Эксергия вещества в потоке, как правило, зависит от вида энергетических взаимодействий с окружающей средой и характеризуется температурой, давлением и химическим потенциалом⁸.

Термической составляющей эксергии обладали потоки, имеющие температуру выше принятой для окружающей среды (293,13 К). Удельную термическую эксергию вычисляли по уравнению Гюи–Стодоллы:

$$e_t = e - e_o = h - h_o - T_o (S - S_o) \quad (3)$$

где e , e_o , h , h_o , S , S_o , T , T_o – удельная термическая эксергия, кДж/кг, удельная энтальпия, кДж/кг, энтропия, кДж/(кг·К) и температура (К) продукта при текущих параметрах технологического процесса и в состоянии равновесия с окружающей средой.

Эксергию паровоздушной смеси, участвующей в процессах расстойки тестовых заготовок и охлаждения готовых хлебобулочных изделий, опре-

деляли, рассматривая её как бинарную смесь, состоящую из 1 кг воздуха и x кг водяных паров:

$$e_s = \bar{c}_s (T - T_o) - T_o \bar{c}_s \ln \frac{T}{T_o} - R \ln \frac{p - \phi p_s(T)}{p - \phi_o p_s(T_o)} + x(h - h_n^o) - T_o (S_n - S_n^o), \quad (4)$$

где \bar{c}_s – средняя удельная изобарная теплоемкость паровоздушной смеси между его текущим состоянием в потоке и состоянием равновесия с окружающей средой, кДж/(кг·К); p , p_o , ϕ , ϕ_o – полное давление, Па, и относительная влажность воздуха, %, в потоке и в окружающей среде; $p_s(T)$, $p_s(T_o)$ – давление насыщенного водяного пара при температуре потока и окружающей среды, Па; h_n , h_n^o , S_n , S_n^o – энтальпия и энтропия паровоздушной смеси при параметрах потока и окружающей среды, кДж/кг и кДж/(кг·К). Данные по теплофизическим свойствам воздуха, воды, сырья и продукта различной влажности и температуры^{9,10} взяты из справочной литературы (Вукалович, 1967; Богословский, 2001).

Механическая составляющая эксергии характеризовалась различием в давлении потока веществ и окружающей среды:

$$e_p = \frac{R}{M} T_o \ln \left(\frac{p}{p_o} \right), \quad (5)$$

⁸ Там же.

⁹ Чубик, И. А., & Маслов, А. М. (1970). *Справочник по теплофизическим характеристикам пищевых продуктов и полуфабрикатов*. М.: Пищевая промышленность.

¹⁰ Миснар, А. (1968). *Справочник. Теплопроводность твердых тел, жидкостей, газов и их композиций*. М.: Мир.

где R – универсальная газовая постоянная, кДж/(моль·К); M – молярная масса газа, кг/моль; K ; P , P_0 – давление газа в рассматриваемом потоке и в состоянии равновесия с окружающей средой, кПа.

Химическая эксергия обусловлена тем, что получаемая закваска и тесто имеют концентрацию, отличающуюся от концентрации распределяемых в окружающей среде компонентов. Расчет химической эксергии соединений при получении закваски и теста определялся реакциями образования соединения из более простых веществ. Для этой реакции находится энергия Гиббса, которая суммируется с энергией компонентов реакции, значение которой, как правило, известно по термодинамическим справочникам. В общем случае химическая (концентрационная) эксергия каждого из потоков продуктов разделения заданного состава, извлекаемых из исходной смеси, определялась по той же формуле, что и термомеханическая эксергия потока. Отличие заключалось в том, что общая величина эксергии определялась алгебраической суммой идеальных работ изменения концентрации каждого компонента смеси¹¹.

Молярная химическая эксергия вещества вычислялась по формуле:

$$\varepsilon_{\mu} = \Delta G^0 + \sum A_i \cdot \varepsilon_i, \quad (6)$$

где ΔG^0 – энергия Гиббса образования вещества; A_i – коэффициенты в уравнении реакции, ε_i – молярная эксергии исходных веществ, кДж/моль.

Теплоемкость смеси муки и компонентов определяли методом нестационарного теплового режима (Волькенштейн, 1971) по формуле:

$$c_p(p, T) = c_p''(T) \frac{m''}{m} \frac{\tau - \tau_0}{\tau' - \tau_0}, \quad (7)$$

где $c_p(p, T)$, $c_p''(T)$ – изобарная теплоемкость исследуемого образца при давлении p и температуре T и эталонного образца при соответствующем давлении p_0 и температуре T , кДж/кг·К; m и m'' – массы образца и эталонного вещества, кг; τ и τ'' – время запаздывания измерительных термомпар соответственно для исследуемого и эталонного образцов, с; τ_0 – время запаздывания измерительных термомпар пустой измерительной ячейки, с.

В расчетах учтено влияние на систему внутренних D^i и внешних D^e эксергетических потерь. Первые связаны с необратимостью любых реальных процессов, а вторые – с условиями взаимодействия системы с окружающей средой. В суммарное количество внутренних эксергетических потерь входили потери от конечной разности температур в результате рекуперативного теплообмена между потоками; электромеханические для работы приводов машин; потери возникающие при необратимом изменении свойств промежуточных продуктов; гидравлические потери, обусловленные внезапным увеличением удельного объема паровоздушной смеси, а также внезапным снижением напора термомасла при поступлении во внутреннюю полость оборудования.

Потери, обусловленные конечной разностью температур между потоками, определяли по формуле:

$$D^{mo} = Q^{mo} \cdot \tau_e, \quad (9)$$

где Q^{mo} – количество теплоты, переданное от одного потока к другому, кДж; τ_e – среднее значение фактора Карно для двух взаимодействующих потоков.

Фактор Карно или эксергетическая температурная функция (Бродянский, Фратшер, & Михалек, 1988) равна термическому КПД цикла Карно между температурами контрольной поверхности и условно принятой окружающей среды:

$$\tau_e = (T_{kn} - T_0)/T_{kn} \quad (9)$$

где T_{kn} – температура теплоносителя внутри контрольной поверхности, К.

Эксергетические потери вследствие падения давления паровоздушной смеси при их подаче в контрольную поверхность определяли по формуле:

$$D^e = g \cdot \Delta H_e \cdot T_{kn}/T_{ex}, \quad (10)$$

где T_{ex} – температура, К, газа (пара) на входе в контрольную поверхность; ΔH_e – гидравлические потери, м; g – ускорение силы тяжести, м/с².

По формуле Дарси-Вейсбаха найдены гидравлические потери при входе паровоздушной смеси в контрольную поверхность:

$$\Delta H_e = \xi \frac{v_{ex}^2}{2g}, \quad (11)$$

¹¹ Бродянский, В. М., Верховикер, Г. П., Дубовской, С. В., Карчев, Я. Я., Лейтес, И. Л., Максимова, Т. В., Никитин, Д. Г., Нестеров, Б. П., Оносовский, В. В., Прохоров, В. И., Шилкопер, С. М., Сорин, М. В., Щеголев, Г. М., Хлебалин, Ю. М., Попов, А. И., & Янговский, Я. И. (1991). *Эксергетические расчеты технических систем. Справочное пособие*. Киев: Наукова Думка.

где $v_{вк}$ – средняя скорость паровоздушной смеси по сечению подводящего трубопровода, м/с; ξ – коэффициент сопротивления, определяемый отношением внутреннего объема оборудования, рассматриваемого в качестве контрольной поверхности, к поперечному сечению входного отверстия.

Внешние потери D^e связаны с условиями сопряжения системы с окружающей средой. Эти потери обусловлены отличием определяющих потенциалов (температуры, давления, химического потенциала) внутри рассматриваемой системы от равновесных с окружающей средой значений.

Потери эксергии в окружающую среду, обусловленные несовершенством теплоизоляции, найдены по формуле:

$$D^e = Q_{из} \cdot \tau_e, \quad (12)$$

где $Q_{из}$ – суммарные потери тепла в окружающую среду через контрольную поверхность, кДж; τ_e – фактор Карно.

Эксергия каждого материального и энергетического потока, а также внутренние и внешние эксергетические потери составили эксергетический баланс теплотехнологической системы получения хлебобулочных изделий (Таблица 3).

Таблица 3
Внутренние и внешние эксергетические потери контрольных поверхностей

Контрольная поверхность	Наименование контрольной поверхности	Эксергетическая мощность, кДж/ч				Потери, %	КПД, %
		Воспри- нятая	Пере- данная	Потери			
				Обозначение	кДж/ч		
I	Подготовка жидкой закваски (тестомесильная машина, дозировочная станция, бункер для брожения, лопастной нагнетатель, циклон разгрузитель)	62496	9989	D^i_{I1}	28192	3,49	15,98
				D^e_{I1}	24315	3,05	
II	Подготовка теста (тестомесильная машина, дозировочная станция, дозатор закваски; емкость для брожения; тестоделитель; округлитель, лопастной нагнетатель, циклон-разгрузитель)	89280	17856	D^i_{II1}	36425	4,52	20,00
				D^e_{II1}	34999	4,34	
III	Расстойка тестовых заготовок (расстойный шкаф)	107136	13884	D^i_{III1}	47760	5,92	12,96
				D^e_{III1}	45492	5,64	
IV	Выпечка и охлаждение тестовых заготовок (термомасляная хлебопекарная печь, кулер для охлаждения готовых изделий)	267840	37847	D^i_{IV1}	134507	16,68	14,13
				D^e_{IV1}	95486	11,84	
V	Получение пара в парогенераторе (парогенератор)	98208	15783	D^i_{V1}	47213	5,85	16,07
				D^e_{V1}	35212	4,34	
VI	Подготовка термомасла в двухступенчатом парокompрессионном тепловом насосе (испаритель, конденсатор-испаритель, конденсатор, компрессоры ТРВ, маслонасос, насосы)	249984	51027	D^i_{VI1}	109479	13,57	20,41
				D^e_{VI1}	89478	11,09	
VII	Конденсация парообразующей смеси в процессе выпечки и ее разделение методом отгонки на воду и спирт (рекуперативный теплообменник, устройство для отгонки спирта из парообразующей смеси)	89280	11287	D^i_{VII1}	41515	5,15	12,64
				D^e_{VII1}	36478	4,52	
Итого		964224	157673	$\Sigma(D^i + D^e)$	806551	100	16,35

Результаты и их обсуждение

Оценку термодинамического совершенства тепло-технологической системы получения хлебобулочных изделий проводили по эксергетическому КПД:

$$\eta_{\text{экс}} = \frac{\sum_{k=1}^l E_k^n}{\sum_{i=1}^n E_i^s} \quad (13)$$

где $\sum_{k=1}^l E_k^n$ – суммарная эксергетическая мощность полезных потоков, кДж/ч; $\sum_{i=1}^n E_i^s$ – суммарная затраченная эксергетическая мощность, кДж/ч.

Эксергетический КПД предлагаемой теплонасосной технологии составил 16,35 %. Двухступенчатый ПКТН обеспечил реализацию резервов энергоэффективности и вернул значительную часть бросовой энергии в технологическую систему.

Эксергетическая диаграмма Грассмана-Шаргута (Рисунок 4) иллюстрирует возврат в систему вторичного низкопотенциального тепла, за счет чего существенно снижется расход энергии на единицу массы готовой хлебопекарной продукции.

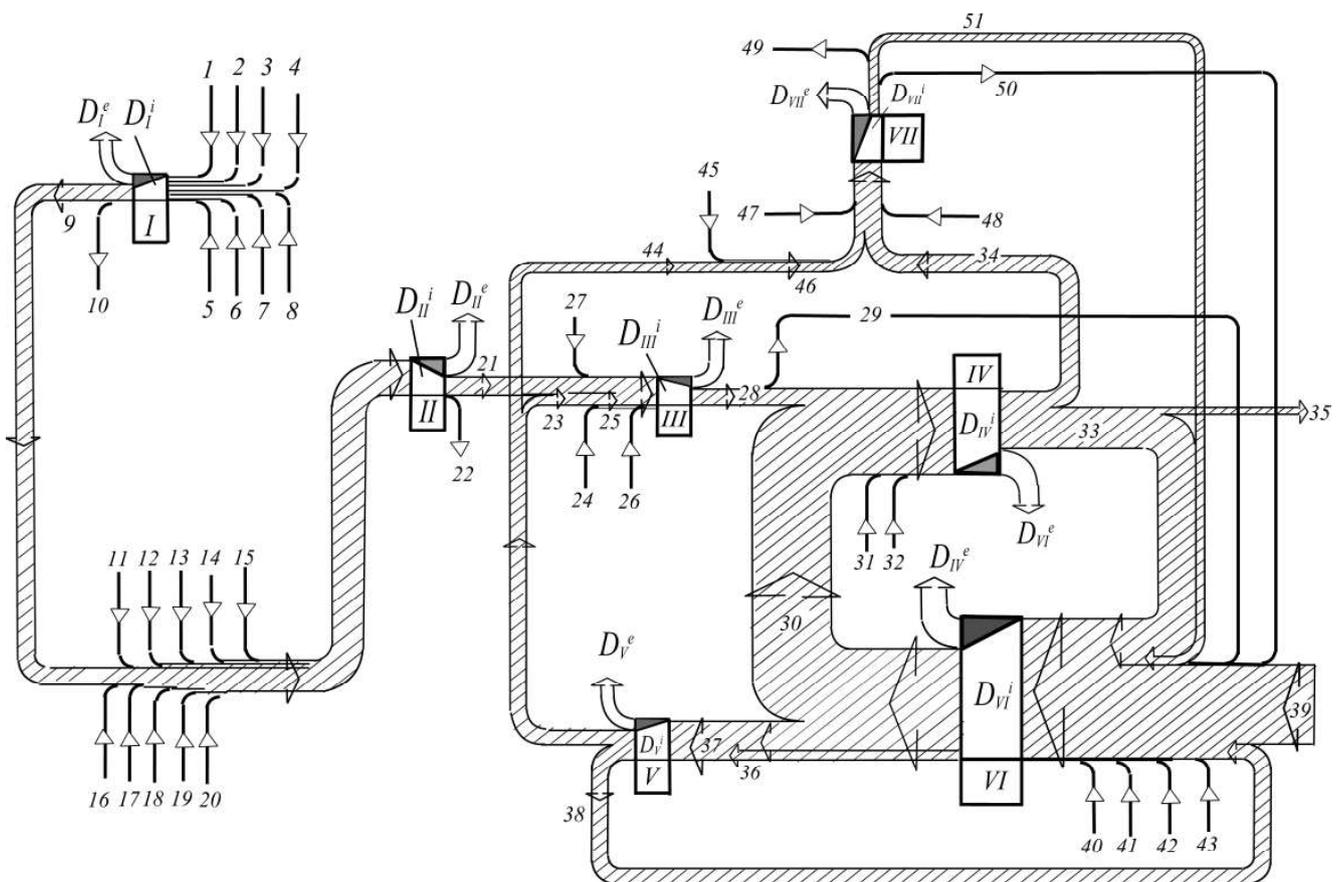


Рисунок 4. Эксергетическая диаграмма Грассмана-Шаргута

Выводы

Использование двухступенчатого ПКТН позволило повысить степень термодинамического совершенства технологии хлебобулочных изделий. Генерация альтернативной энергии за чет утилизации и рекуперации теплоты низкопотенциальных источников в замкнутых термодинамических циклах позволила вернуть в систему часть энергии отработанных теплоносителей и снизить

удельные энергозатраты на 25-30 % и как следствие снизить себестоимость хлебобулочных изделий.

Литература

Алексеев, С. В. (2009). *Исследования и разработки Сибирского отделения РАН в области энергоэффективных технологий*. Новосибирск: Наука.

- Ауэрман, Л. Я. (2005). *Технология хлебопекарного производства*. М.: Профессия.
- Богданова, О. В., Алексеева, Л. В., & Петрова, А. А. (2019). Современное состояние и тенденции развития Российского рынка хлеба и хлебобулочных изделий. *Вестник Тверского государственного университета*, 2, 167-174.
- Богословский, С. В. (2001). *Физические свойства газов и жидкостей*. СПб.: СПбГУАП.
- Бритиков, Д. А., & Шевцов, А. А. (2012). *Энергосбережение в процессах сушки зерновых культур с использованием теплонасосных технологий: Монография*. М.: ДеЛи плюс.
- Бродянский, В. М., Фратшер, В., & Михалек, К. (1988). *Эксергетический метод и его приложения*. М.: Энергоатомиздат.
- Волькенштейн, В. С. (1971). *Скоростной метод определения теплофизических характеристик материалов*. Л.: Энергия.
- Вукалович, М. П. (1967). *Теплофизические свойства воды и водяного пара*. М.: Машиностроение.
- Гаранина, В. В. (2018). Основные тенденции развития хлебопекарной отрасли в современных условиях. *Молодой ученый*, 50, 122-123.
- Горшков, В. Г. (2004). Тепловые насосы. Аналитический обзор. *Справочник промышленного оборудования*, 2, 47-80.
- Долинский, А. А., Драганов, Б. Х., & Морозюк, Т. В. (2007). Альтернативное теплоснабжение на базе тепловых насосов: критерии оценки. *Промышленная теплотехника*, 6, 67-71.
- Елистратов, С. Л. (2009). Оценка границ технико-экономической эффективности применения тепловых насосов. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Энергетика*, 15, 72-78.
- Елистратов, С. Л., & Накоряков, В. Е. (2007а). Передовые схемные решения теплонасосных установок. *Известия Вузов. Проблемы энергетики*, 11-12, 64-75.
- Елистратов, С. Л., & Накоряков, В. Е. (2007б). Экологические аспекты применения пароконпресссионных тепловых насосов. *Известия РАН. Энергетика*, 4, 76-83.
- Елистратов, С. Л., & Накоряков, В. Е. (2008). Энергетическая эффективность комбинированных отопительных установок на базе тепловых насосов с электроприводом. *Промышленная энергетика*, 3, 28-33.
- Закиров, Д. Г., Мухамедшин, М. А., Николаев, А. В., Файзрахманов, Р. А., & Рюмки, А. А. (2018). Разработка и внедрение технологий использования низкопотенциального тепла тепловыми насосами. *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*, 94, 85-90. <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2018-10012>
- Зверев, В. Г., Назаренко, В. А., & Теплоухов, А. В. (2010). Идентификация теплофизических характеристик материалов. *Инженерно-физический журнал*, 3, 614-621.
- Остриков, А. Н., Шевцов, А. А., Тертычная, Т. Н., & Сердюкова, Н. А. (2020). Технология получения гранул из шрота семян рапса с использованием двухступенчатого каскадного пароконпресссионного теплового насоса. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 4, 22-30. <https://doi.org/10.36107/spfr.2020.390>
- Пашенко, Л. П., & Жаркова, И. М. (2008). *Технология хлебобулочных изделий*. М.: КолосС.
- Тенденция формирования хлебопекарного рынка России в 2010-2020 гг. (2021). *Хлебопродукты*, 1, 16-17.
- Цыганова, Т. Б. (2014). *Технология и организация производства хлебобулочных изделий*. М.: Академия.
- Шаргут, Я., & Петела, В. (1968). *Эксергия*. М.: Энергия.
- Шахрай, Т. А., Воробьева, О. В., & Викторова, Е. П. (2021). Основные тенденции развития рынка функциональных хлебобулочных изделий. *Новые технологии*, 17(3), 51-58. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2021-17-3-51-58>
- Шевцов, А. А., Бунин, Е. С., Ткач, В. В., Сердюкова, Н. А., & Фофанов, Д. И. (2018). Эффективное внедрение пароконпресссионного теплового насоса в линию комплексной переработки семян масличных культур. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 1, 60-64.
- Шевцов, А. А., Тертычная, Т. Н., Ткач, В. В., & Сердюкова, Н. А. (2019). Энергосберегающая технология выделения белоксодержащих фракций из масличных семян с применением парожеторного теплового насоса. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 2, 35-40. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-2-35-40>
- Chamoun, M., Rulliere, R., Haberschill, P., & Berail, J. F. (2012). Вода как хладагент для нового высокотемпературного теплового насоса. *Холодильная техника*, 12, 30-35.
- Chicherin, S. (2018а). Low-temperature district heating distributed from transmission-distribution junctions to users: Energy and environmental modeling. *Energy Procedia*, 147, 382-389. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.07.107>
- Chicherin, S. V. (2018b). Comparison of a district heating system operation based on actual data – Omsk city, Russia, case study. *International Journal of Sustainable Energy*, 38(6), 603-614. <https://doi.org/10.1080/14786451.2018.1548466>

Generation of Alternative Energy in Production Bakery Products with the use of Heat Pump

Aleksey B. Drannikov,

Voronezh State University of Engineering Technologies,
19, Revolution Avenue, Russia, Voronezh, 394036, Russian Federation
E-mail: drannikov@list.ru

Tatiana N. Tertychnaya,

Voronezh State Agrarian University named after Peter I",
19, Revolution Avenue, Russia, Voronezh, 394036, Russian Federation
E-mail: tertychnaya777@yandex.ru

Aleksander A. Shevtsov,

Voronezh State University of Engineering Technologies,
19, Revolution Avenue, Russia, Voronezh, 394036, Russian Federation
E-mail: shevalol@rambler.ru

Nikita V. Zasyppkin,

Voronezh State University of Engineering Technologies,
19, Revolution Avenue, Russia, Voronezh, 394036, Russian Federation
E-mail: zvnikita24@gmail.com

The development of alternative energy opens up real prospects for the use of heat pumps in various industries. The simultaneous production of heat and cold by means of heat pumps is based on the use of low-potential energy, which is discharged into the atmosphere in significant volumes. In this regard, the introduction of heat pump technologies in the production of bakery products will create conditions for saving energy costs and reduce the impact of negative factors on environmental safety. The paper substantiates the energy-efficient involvement of a two-stage vapor compression heat pump in the technological scheme, which ensures an increase in the thermodynamic perfection of a complex heat technology system. Freon R600a was selected as working fluids for the first stage, R718 water was used for the second stage. The stages are connected via a condenser-evaporator, which is a condenser for the low-pressure stage and an evaporator for the high-pressure stage. The modes of operation of the heat pump for the preparation of high-potential and low-potential heat carrier for the implementation of energy-intensive processes of proofing, baking and cooling of dough pieces have been established. Thermodynamic diagrams for R600a freon and R718 water are built, which clearly reflect the operating cycles of the heat pump stages. In accordance with the methodology of exergy analysis, the technology is divided into seven control surfaces, between which the exchange of material and energy flows is established. According to the method of V.M. Brodyansky. an exergy analysis was carried out, an exergy diagram of Grassmann-Shargut was constructed, indicating an increase in the exergy efficiency of the technology for obtaining bakery products using a heat pump.

Keywords: bakery products, heat pump technology, two-stage steam compression heat pump, energetic analysis.

References

- Alekseenko, S. V. (2009). *Issledovaniya i razrabotki Sibirskogo otdeleniya RAN v oblasti energoefektivnykh tekhnologii* [Research and development of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences in the field of energy efficient technologies]. Novosibirsk: Nauka.
- Auerman, L. Ya. (2005). *Tekhnologiya khlebopekarnogo proizvodstva* [Technology of bakery production]. Moscow: Professiya.
- Bogdanova, O. V., Alekseeva, L. V., & Petrova, A. A. (2019). *Sovremennoe sostoyanie i tendentsii razvitiya Rossiiskogo rynka khleba i khlebobulochnykh izdelii* [Current state and development trends of the Russian market of bread and bak-

- ery products]. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of Tver State University]*, 2, 167-174.
- Bogoslovskii, S. V. (2001). *Fizicheskie svoystva gazov i zhidkostei [Physical properties of gases and liquids]*. S-Petersburg: SPbGUAP.
- Britikov, D. A., & Shevtsov, A. A. (2012). *Energosberezhenie v protsessakh sushki zernovykh kul'tur s ispol'zovaniem teplonasosnykh tekhnologii: Monografiya [Energy saving in the processes of drying grain crops using heat pump technologies: Monograph]*. Moscow: DeLi plyus.
- Brodyanskii, V. M., Fratsher, V., & Mikhalek, K. (1988). *Eksergeticheskii metod i ego prilozheniya [The exergy method and its applications]*. Moscow: Energoatomizdat.
- Dolinskii, A. A., Draganov, B. Kh., & Morozyuk, T. V. (2007). Al'ternativnoe teplosnabzhenie na baze teplovykh nasosov: kriterii otsenki [Alternative heat supply based on heat pumps: evaluation criteria]. *Promyshlennaya teplotekhnika [Industrial Heat Engineering]*, 6, 67-71.
- Eliustratov, S. L. (2009). Otsenka granits tekhniko-ekonomicheskoi effektivnosti primeneniya teplovykh nasosov [Assessment of the boundaries of the technical and economic efficiency of the use of heat pumps]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Energetika [Bulletin of the South Ural State University. Energy]*, 15, 72-78.
- Eliustratov, S. L., & Nakoryakov, V. E. (2007a). Ekologicheskie aspekty primeneniya parokompressionnykh teplovykh nasosov [Environmental aspects of the use of vapor compression heat pumps]. *Izvestiya RAN. Energetika [Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Energy]*, 4, 76-83.
- Eliustratov, S. L., & Nakoryakov, V. E. (2007b). Poredovye skhemnye resheniya teplonasosnykh ustanovok [Advanced circuit solutions for heat pump installations]. *Izvestiya Vuzov. Problemy energetiki [Izvestiya Universities. Energy Issues]*, 11-12, 64-75.
- Eliustratov, S. L., & Nakoryakov, V. E. (2008). Energeticheskaya effektivnost' kombinirovannykh otopitel'nykh ustanovok na baze teplovykh nasosov s elektroprivodom [Energy efficiency of combined heating systems based on electrically driven heat pumps]. *Promyshlennaya energetika [Industrial Energy]*, 3, 28-33.
- Garanina, V. V. (2018). Osnovnye tendentsii razvitiya khlebopekarnoi otrasli v sovremennykh usloviyakh [The main trends in the development of the baking industry in modern conditions]. *Molodoi uchenyi [Young Scientist]*, 50, 122-123.
- Gorshkov, V. G. (2004). Teplovye nasosy. Analiticheskii obzor [Heat pumps. Analytical review]. *Spravochnik promyshlennogo oborudovaniya [Directory of Industrial Equipment]*, 2, 47-80.
- Ostrikov, A. N., Shevtsov, A. A., Tertychnaya, T. N., & Serdyukova, N. A. (2020). Tekhnologiya polucheniya granul iz shrota semyan rapsa s ispol'zovaniem dvukhstupenchatogo kaskadnogo paro-kompressionnogo teplovogo nasosa [Technology for obtaining granules from rapeseed meal using a two-stage cascade vapor-compression heat pump]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya [Storage and processing of Farm Products]*, 4, 22-30. <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.390>
- Pashchenko, L. P., & Zharkova, I. M. (2008). *Tekhnologiya khlebobulochnykh izdelii [Technology of bakery products]*. Moscow: KolosS.
- Shakhrai, T. A., Vorob'eva, O. V., & Viktorova, E. P. (2021). Osnovnye tendentsii razvitiya rynka funktsional'nykh khlebobulochnykh izdelii [The main trends in the development of the market of functional bakery products]. *Novye tekhnologii [New Technologies]*, 17(3), 51-58. <https://doi.org/10.47370/2072-0920-2021-17-3-51-58>
- Shargut, Ya., & Petela, V. (1968). *Eksergiya [Exergy]*. Moscow: Energiya.
- Shevtsov, A. A., Bunin, E. S., Tkach, V. V., Serdyukova, N. A., & Fofonov, D. I. (2018). Effektivnoe vnedrenie parokompressionnogo teplovogo nasosa v liniyu kompleksnoi pererabotki semyan maslichnykh kul'tur [Efficient implementation of a vapor compression heat pump in the line of complex processing of oilseeds]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya [Storage and processing of Farm Products]*, 1, 60-64.
- Shevtsov, A. A., Tertychnaya, T. N., Tkach, V. V., & Serdyukova, N. A. (2019). Energosberegayushchaya tekhnologiya vydeleniya beloksoderzhashchikh fraktsii iz maslichnykh semyan s primeneniem paroezhektornogo teplovogo nasosa [Energy-saving technology for the extraction of protein-containing fractions from oilseeds using a steam jet heat pump]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii [Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies]*, 2, 35-40. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-2-35-40>
- Tendentsiya formirovaniya khlebopekarnogo rynka Rossii v 2010-2020 gg [The trend in the formation of the Russian bakery market in 2010-2020]*. (2021). *Khleboprodukty [Bakery Products]*, 1, 16-17.
- Tsyganova, T. B. (2014). *Tekhnologiya i organizatsiya proizvodstva khlebobulochnykh izdelii [Technology and organization of production of bakery products]*. Moscow: Akademiya.
- Vol'kenshtein, B. C. (1971). *Skorostnoi metod opredeleniya teplofizicheskikh kharakteristik materialov [High-speed method for determining the thermophysical characteristics of materials]*. Leningrad: Energiya.

- Vukalovich, M. P. (1967). *Teplofizicheskie svoistva vody i vodyanogo para* [Thermophysical properties of water and steam]. Moscow: Mashinostroenie.
- Zakirov, D. G., Mukhamedshin, M. A., Nikolaev, A. V., Faizrakhmanov, R. A., & Ryumkin, A. A. (2018). Razrabotka i vnedrenie tekhnologii ispol'zovaniya nizkopotentsial'nogo tepla teplovymi nasosami [Development and implementation of technologies for the use of low-grade heat by heat pumps]. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rastenievodstva i zhivotnovodstva* [Technologies and Technical Means of Mechanized Production of Crop And Livestock Products], 94, 85-90. <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2018-10012>
- Zverev, V. G., Nazarenko, V. A., & Teploukhov, A. V. (2010). Identifikatsiya teplofizicheskikh kharakteristik materialov [Identification of thermo-physical characteristics of materials]. *Inzhenerno-fizicheskii zhurnal* [Engineering Physics Journal], 3, 614-621.
- Chamoun, M., Rulliere, R., Haberschill, P., & Berail, J. F. (2012). Voda kak khladagent dlya novogo vysokotemperaturnogo teplovogo nasosa [Water as refrigerant for new high temperature heat pump]. *Kholodil'naya tekhnika* [Refrigeration Technology], 12, 30-35.
- Chicherin, S. (2018a). Low-temperature district heating distributed from transmission-distribution junctions to users: Energy and environmental modeling. *Energy Procedia*, 147, 382-389. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.07.107>
- Chicherin, S. V. (2018b). Comparison of a district heating system operation based on actual data – Omsk city, Russia, case study. *International Journal of Sustainable Energy*, 38(6), 603-614. <https://doi.org/10.1080/14786451.2018.1548466>

Цифровизация – основной вектор развития сельского хозяйства России

Балыхин Михаил Григорьевич

*ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
Адрес: 125080, Москва, Волоколамское ш., д. 11
E-mail: mgupp@mgupp.ru*

Астраханцева Елена Юрьевна

*ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
Адрес: 125080, Москва, Волоколамское ш., 11
E-mail: astra31@gmail.com*

Развитие «цифровой» экономики в России является важным стратегическим направлением, определяющим конкурентоспособность страны на национальном и мировом рынке. Целью исследования было анализ мер, предпринимаемых для повышения охвата цифровизацией сельского хозяйства Российской Федерации, состояние и тенденции развития цифровых технологий в отрасли. Выдвинута гипотеза, что нивелированию отрыва отрасли от других сфер экономики будут способствовать меры, предпринимаемые Министерством сельского хозяйства Российской Федерации, региональными органами управления АПК, агропромышленными организациями и фермерским хозяйствам на основании выявленных в процессе анализа проблем и обоснование рекомендаций в области цифровизации разных сфер агропромышленного комплекса. Анализируются источники за последние 12 лет из баз данных РИНЦ в области цифровизации сельского хозяйства, а также учебные пособия и монографии посвященные исследуемой тематике. Установлено место России в рейтинге мировых государств по применению цифровой экономики и использованию предназначенных для этой цели технологий, выявлены причины, препятствующие их освоению. Согласно полученным данным, отставание в области цифровизации в России особенно характерно для сельского хозяйства, несмотря на объективную предрасположенность аграрного производства к применению цифровых технологий.

Ключевые слова: цифровизация, сельское хозяйство, цифровые технологии, информатизация, растениеводство, животноводство

Введение

Эффективность сельского хозяйства развитых стран мира преимущественно обеспечивается за счет внедрения в разные сферы экономики новейших технологических процессов и совершенствования управления ими. Развитие «цифровой» экономики в нашей стране согласно Указу Президента РФ «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017 – 2030 годы» от 09.05.2017 N 203 заявлено главным стратегическим направлением¹. Данные меры представляют важность для всех сфер экономики, включая сельское хозяйство.

В работах (Крюков, 2010; Лидин, 2012; Pechenaya, 2018; Малявкина, 2017; Хоменко, 2022; Бабкин,

2017) отечественных ученых России сформированы различные теории цифровой экономики, на которые повлияли труды зарубежных авторов. К имеющимся ключевым формулировкам можно отнести следующие:

- экономика нового технологического поколения (Послание Президента Российской Федерации Федеральному Собранию от 1 декабря 2016 г.);
- хозяйственная деятельность, в которой ключевым фактором производства являются данные в цифровом виде; обработка больших объемов этих данных и использование результатов их анализа по сравнению с традиционными формами хозяйствования позволяют существенно повысить эффективность раз-

¹ Указ Президента РФ от 9 мая 2017 г., № 203 «О Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017 - 2030 годы». Дата введения: с момента утверждения (2017).

личных видов производства, оборудования, хранения, продажи, доставки товаров и услуг (Стратегия развития информационного общества РФ на 2017–2030 годы) (Абдрахманова, 2019). Однако, до настоящего момента не сформирован универсальный научно обоснованный подход и отсутствует персональная ответственность за недостижение целевых показателей, установленных дорожными картами, что тормозит развитие информатизации, особенно в аграрном секторе экономики. Проблему обостряет недостаток и несоответствие подготовки специалистов профиля по цифровой экономике программным требованиям. Для реализации этих возможностей в 2018 г. была принята Национальная программа «Цифровая экономика Российской Федерации», а с 2020 г. цифровая трансформация определена как национальная цель развития страны. Составной частью Национальной программы является Федеральный проект «Кадры для цифровой экономики», который устанавливает целевые значения по доле россиян, обладающих цифровой грамотностью и ключевыми компетенциями цифровой экономики: от 30% населения в 2020 г. и до 40% в 2024 г. по завершении проекта. [Приказ Минцифры России].

Экономическая деятельность, сконцентрированная на платформе «цифровой» экономики, позволяет производить товары, оказывать услуги, отвечающие требованиям и нуждам каждого потребителя; гармонизировать отношения производителей с потребителями за счет сокращения количества посредников. Можно предположить, что формированию инфраструктуры и технологической платформы (базиса) «цифровой» экономики будет способствовать создание условий, направленных на развитие отраслевого бизнеса (в том числе, малого и среднего) (Кешелава, 2017).

Одним из основных факторов, определяющих результативность современного сельскохозяйственного производства, является цифровизация, а ее базовым элементом – различные компьютерные программы. В них (в виде математических моделей и методов обработки информации) получили отражение знания и разработки ведущих ученых и специалистов разных областей сельского хозяйства (Каренов, 2019). Эксперты в области цифровизации АПК (IT-специалисты, ра-

ботающие в сельском хозяйстве) считают, что в процессе производства теряется до 40% сельскохозяйственной продукции, при том, что нивелировать часть потерь (до 2/3), можно с помощью цифровых решений². Цифровые технологии нацелены на эффективное управление экономикой в отраслях сельского хозяйства, поскольку с их помощью повышается скорость и качество передачи и обработки потоков информации. Цифровизация способствует развитию наукоемких производств, росту производительности труда, повышению урожайности и продуктивности, обеспечению сельскохозяйственной продукцией внутреннего рынка, ее сбыту по рациональным ценам, наращиванию экспортного потенциала, совершенствованию социально-экономических отношений и т.д. В этой связи оценка состояния и развития цифровых методов работы в сельском хозяйстве, формирование рекомендаций по активизации данных процессов в АПК РФ относится к разряду актуальных проблем.

Целью исследования ставилось определение предпосылок, условий и возможностей для широкомасштабной цифровизации сельского хозяйства России, а также разработка рекомендаций по освоению цифровых технологий в АПК.

Для достижения данной цели решению подлежали следующие задачи: определение места России среди других государств по степени охвата цифровыми технологиями; анализ состояния цифровизации в сельском хозяйстве; выявление проблем, препятствующих освоению прогрессивных проектов; выработка рекомендаций для активного освоения цифровых проектов в АПК.

Материалы и методы исследования

Материалы

При работе с источниками использовалась база данных РИНЦ в области цифровизации сельского хозяйства. Источники анализировались за последние 12 лет, на русском и иностранных языках, опубликованных в профильных журналах, а также учебные пособия и монографии посвященные исследуемой тематике исследования. Сопоставительное исследование и классификация материала проводились по следующим ключевым словам: цифровизация, сельское хозяйство, цифровые технологии, информатизация, растениевод-

² Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» утв. распоряжением Правительством РФ от 28 июля 2017 г. № 1632 р. Дата введения: с момента утверждения (2017).

ство и животноводство. Используя полученную в ходе исследования информацию, нам позволило оптимизировать и классифицировать полученные данные.

Информационную базу исследования составили директивные материалы в области цифровизации сельского хозяйства, официальные данные статистики, результаты анкетирования, экспертных оценок и др. В качестве базового документа использовалась Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия (далее – Госпрограмма).

Методы исследования

Для успешной разработки и последующего использования различных электронных платформ, систем и сервисов в области цифровизации сельского хозяйства использовались следующие научные методы: анализ, обобщение, логическая интерпретация данных, экспертные оценки.

Процедура исследования и анализ данных

На первом этапе для анализа источников исследования в области цифровизации АПК, был проведен поиск релевантных источников в базе данных РИНЦ. На втором этапе исследования каждая статья была проанализирована с точки зрения наличия в ней информации в области цифрового сельского хозяйства. Данные по каждой статье заносились в аналитическую таблицу:

Предмет поиска	Наименование источника информации	Автор	Год, место и орган издания
Цифровизация сельского хозяйства	Факторы и проблемы развития цифровой экономики в России.	Бабанов, В.Н.	2017 г. Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки, 255-262

На третьем этапе исследования полученная в результате анализа источников таблица была проанализирована с позиции изучения потребностей

различных сегментов агро-рынка в цифровых технологиях. Анализ позволил выделить следующие тематические блоки:

- география цифровизации;
- цифровые платформы;
- цифровые технологии.

По предметному поиску и ключевым словам было найдено 243 статьи, 6 аналитических докладов в обзоре глобальных трендов развития цифровой технологии и 3 учебных пособия. 92 статьи, 1 учебное пособие и 3 аналитических обзора отброшены как не совсем релевантные и для анализа осталась 151 статья, 2 учебных пособия и 3 аналитических обзора.

Следуя выделенным тематическим блокам, были описаны результаты исследования.

Результаты и их обсуждение

География цифровизации

В 2020 г. цифровизацией было охвачено около 25% мировой экономики (Вартанова, 2018). В нашей стране этот процесс активизировался с утверждения в 2017 г. программы «Цифровая экономика Российской Федерации»⁵ (Бабкин, 2017; Капранова, 2018; Бабанов, 2017; Сударушкина, 2017). Для формирования представления о месте России в рейтинге стран Центром компетенций АНО «Диалог» разработан метод оценки готовности граждан к цифровизации. По установленному им индексу Россия в 2021 г. занимала 27-е место, тогда как Китай, Швейцария и Австралия 28-е, 29-е и 30-е места соответственно. Лидером по топу 51 страны (участницы ОЭСР, СНГ, БРИКС) в рейтинговой оценке явилась Япония, а США, Италия, Словения, заняли соответственно 24-ю, 25-ю и 26-ю позиции. Замыкающие места в рейтинге распределились следующим образом: Узбекистан (47-е), Индия (48-е), Киргизия (49-е). Таджикистан (50-е), Туркмения (51-е) (Баранов, 218). Отставание нашей страны по развитию и использованию цифровых технологий от мировых лидеров (Япония, Сингапур, Швеция, Норвегия, США, Швейцария, Великобритания и др.), как было отмечено в докладе Всемирного банка, обусловлено отсутствием нормативной базы для цифровизации, недостатками национальной рыночной среды для ведения бизнеса, слабой ориентацией на нововведения, сравнительно низким уровнем использования

⁵ Росстат. Россия в цифрах. 2021: Крат.стат.сб. (2021).

данного инструмента отечественными предприятиями и населением⁴. Особенно это ощутимо в сельском хозяйстве, несмотря на объективную предрасположенность аграрного сектора экономики к широкому применению цифровых технологий, в силу специфических особенностей отрасли: технологическое многообразие производств и культур; отличия и сложность процессов, подлежащих цифровизации; участие в ряде технологических процессов живых организмов; вероятность случайных изменений производственных параметров из-за связи режимов работы оборудования с растениями, животными и людьми; случайный характер контролируемых параметров из-за их рассредоточения по большой площади и др. (Бьерне, 2018).

Позитивные сдвиги в области цифровизации начались после утверждения в 2017 г. программы «Цифровая экономика Российской Федерации» (Ткаченко, 2020). С этого момента вступает в силу, разработанный Правительством РФ ряд документов, регламентирующих процесс цифровизации экономики, а также трансформации к 2030 г. агропромышленного комплекса в единую цифровую платформу, обеспечивающую предоставление информации, услуг и сервисов. Для продовольственной безопасности страны, увеличения экспорта продукции АПК, развития растениеводства и животноводства, в том числе с внедрением инновационных технологий и цифровизации отрасли в Госпрограмме предусмотрен раздел «Стратегические приоритеты в сфере реализации государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия». Особое внимание отводится достоверности разрабатываемых прогнозов развития отрасли с учетом характерных для АПК рисков (технических, экономических, социальных, природно-климатических), а также росту инвестиций в основной капитал (на 70% в сравнении с 2020 г.) за счет средств федерального проекта «Стимулирование инвестиционной деятельности в агропромышленном комплексе»⁵.

Цифровые платформы

Импульс созданию национальной цифровой платформы был задан приказом Минсельхоза России в 2020 г⁶. Одной из главных целей данного проекта ставилось достижение к 2024 г. за счёт внедрения цифровых технологий двукратного увеличения производительности сельскохозяйственных предприятий посредством цифровой трансформации АПК, обеспечения технологического прорыва в отрасли. В основу цифровизации сельского хозяйства могут быть положены концепции точного земледелия и умных ферм, технологии компьютерного зрения, автономные роботизированные системы и искусственный интеллект⁷. Базой создания цифровой платформы в отраслях сельского хозяйства явился ряд принципиальных установок, направленных на повышение конкурентоспособности сельскохозяйственного производства, снижение затрат на приобретение сырья (вследствие сокращения доли некачественного семенного материала, удобрений и пр.), а также обеспечение всех участников агропродовольственного бизнеса достоверной информацией о производителях, условиях хранения и транспортировки продукции. Примером таких разработок является Информационно-аналитическая система управления растениеводством.

Для определения основных экономических показателей, характеризующих возможности сельского хозяйства инвестировать проекты цифровизации отрасли, были проведены анализ данных официальной статистики (Таблица 1) и опрос экспертов⁸.

По приведенным данным можно сделать вывод о высокой степени износа основных фондов в АПК, обновление которых потребует значительных капиталовложений, а также о недостаточном количестве IT-специалистов, указывающем на необходимость расширения подготовки работников данной категории. Несмотря на достаточно высокую рентабельность, сельскохозяйственные предприятия не в состоянии без поддержки госу-

⁴ Цифровые дивиденды. Обзор. *Группа всемирного банка*. 12 апреля, 2016, из <https://documents1.worldbank.org/curated/en/224721467988878739/pdf/102724-WDR-WDR2016Overview-RUSSIAN-WebRes-Box-394840B-OUO-9.pdf>.

⁵ Постановление Правительства Российской Федерации от 2 сентября 2021 г. № 1474 «О внесении изменений в Государственную программу развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия и признании утратившими силу некоторых актов и отдельных положений некоторых актов Правительства Российской Федерации». Дата введения: с момента утверждения (2021).

⁶ Приказ Минсельхоза России от 25 февраля 2020 года N 84 «О создании национальной платформы «Цифровое сельское хозяйство». Дата введения: с момента утверждения (2020).

⁷ Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» утв. распоряжением Правительством РФ от 28 июля 2017 г. № 1632 р. Дата введения: с момента утверждения (2017).

⁸ Россия в цифрах. 2021.

Таблица 1

Ключевые экономические показатели, характеризующие состояние сельского хозяйства в 2021 г.¹⁰

Показатели	Единицы измерения	Величины показателей
Рентабельность производства (в среднем по отрасли)	%	20
Число занятого населения в сельской местности (при стагнации воспроизводства трудовых ресурсов на селе)	Млн чел.	4.4
Количество профессионально подготовленных работников	Тыс. чел.	Не более 500
Высокая степень износа основных фондов		
– срок службы сельскохозяйственной техники (470 тыс. единиц)	Лет	Более 10
– пробег сельхозмашин	Тыс. мото-ч	Около 15
Снижение рисков отклонений урожайности	%	Около 10

дарства осуществлять проекты такого масштаба⁹. При этом необходимо учитывать, что величина валютной выручки, поступающей от аграрного сектора в бюджет РФ превышала аналогичный показатель ВПК (Семенов, 2019).

Выявлению мотивов, указывающих на предрасположенность к внедрению цифровых технологий в сельском хозяйстве, способствовало исследование, проведенное методом анкетирования в 2021 г. Центром прогнозирования и мониторинга Кубанского ГАУ по цифровизации АПК, в котором приняли участие 102 эксперта¹². Мы разделяем мнение специалистов, считающих, что глобальная цифровизация национального сельского хозяйства находится на начальном уровне (83 % ответов), и является важной причиной низкой конкурентоспособности предприятий, не ис-

пользующих цифровые технологии (88 % ответов) (Труфляк, 2021).

Наряду с этим было установлено, что для преобладающего большинства фермеров (82% респондентов) определяющее значение имел мониторинг цен на сельскохозяйственную продукцию; для 56% – получение консалтинговых услуг; для 33% – доступность информации; для 30% – связи с другими представителями рынка (фермерами, клиентами и пр.).

В Таблице 2 представлен прогноз ключевых показателей Министерства сельского хозяйства Российской Федерации на 2030 г. (в сопоставимых ценах), в разрезе целей, подлежащих достижению в рамках II этапа Госпрограммы цифровизации АПК.

Таблица 2

Прогноз ключевых целевых показателей Министерства сельского хозяйства РФ на 2030 г.¹¹

Цели	Ключевые целевые показатели	Единицы измерения	Темп роста показателя
Цель 1	Индекс производства продукции сельского хозяйства (темпы роста)	%	114,6
Цель 2	Индекс производства пищевых продуктов (темпы роста)	%	114,7
Цель 3	Уровень среднемесячной начисленной заработной платы работников сельского хозяйства (без субъектов малого предпринимательства)	Руб.	60857
Цель 4	Объем экспорта продукции агропромышленного комплекса	млрд долл. США	47,1

⁹ 8 трендов управления персоналом в 2021 году. *Kickidler*. 3 июня, 2021, из <https://www.kickidler.com/ru/info/8-trendov-upravleniya-personalom-v-2021-godu.html>.

¹⁰ Рентабельность сельхозорганизаций выросла в прошлом году до 23,4% - Минсельхоз. (2022, 11 февраля). Финмаркет. <http://www.finmarket.ru/news/5648380>

¹¹ Кулистикова, Т. (2021, 8 сентября). Правительство изменило госпрограмму развития сельского хозяйства. АвтоИнвестор. <https://www.agroinvestor.ru/analytics/news/36614-pravitelstvo-izmenilo-gosprogrammu-razvitiya-selskogo-khozyaystva>

¹² Ильющенков, Д. (2021, ноябрь 17). Правительство просит отменить госрегулирование цен на техосмотр. *Ведомости*. <https://www.vedomosti.ru/auto/articles/2021/11/16/896165-biznes-gosregulirovanie>.

Для дальнейшего развития отрасли запланировано, что к 2024 г. Системы точного земледелия будут использоваться на 25% российских полей, а здоровье скота отслеживаться с помощью цифровых технологий на 25% ферм¹³. На основании тенденции роста ключевых показателей, в том числе средней заработной платы в 1,7 раза (Таблица 2), можно предположить наличие перспектив повышения мотивации работы в АПК, что важно для последующей цифровизации сельского хозяйства (Крюков, 2010; Лидин, 2012). Однако выполнению Госпрограммы препятствует ряд факторов: ограниченные финансовые возможности сельхозпроизводителей; недостаток перерабатывающих мощностей; технологическая зависимость растениеводства от импорта семенного материала, а животноводства, ветеринарии, кормопроизводства – от племенной продукции (материала, ингредиентов); дефицит высококвалифицированных кадров, в том числе IT-специалистов¹⁴¹⁵¹⁶.

Проблему реализации проекта «Цифровое сельское хозяйство», наряду с финансированием, следует решать в едином комплексе с целевой подпрограммой «Устойчивое развитие сельских территорий», предусматривающей: обеспечение комфортных условий жизнеобеспечения для граждан, проживающих в сельской местности; создание на селе высокопроизводительных рабочих мест; стимулирование граждан для более активного участия в общественно значимых проектах; формирование позитивного отношения к сельской местности и сельскому образу жизни и т.д.

Цифровые технологии расширяют возможности контроля полного цикла процессов растениеводства и животноводства, поскольку «умные» устройства способны измерять и передавать параметры почв, растений, микроклимата и т.д. Анализу массива данных, поступающих с датчиков, дронов и другой техники, будет способствовать использование специальных программ. С помощью мобильных или онлайн-приложений у фермеров и агрономов появится возможность точно определять время, благоприятное для посадки и сбора урожая, рассчитывать схемы внесения удобрений, составлять прогнозы¹⁷.

Исследование показало отсутствие единства мнений среди стран-лидеров при выборе подхода к формированию «цифровой» экономики. Однако мнения ученых сходятся в том, что переходу на цифровизацию экономики должно предшествовать исследование готовности разных отраслей и предприятий к данному процессу, включая оценку их технического и экономического состояния. Важность создания условий для перехода на цифровые технологии актуализирует тему настоящего исследования. В целях повсеместного внедрения информационных технологий, развития инфраструктуры и полноценного обеспечения субъектов экономической деятельности, создания условий для полного удовлетворения потребностей всех участников «цифровой» экономики потребуются достаточное финансирование и кадры соответствующей квалификации (Кешелава, 2017). Изучение вопросов по состоянию цифровизации АПК показало, что при постановке данной проблемы и доведении подлежащих решению, в этой связи, задач до непосредственных исполнителей, по-прежнему большинство вопросов остаются недостаточно проработанными и нереализованными на практике, что подчеркивает актуальность настоящего исследования.

Цифровые технологии

В России в последние годы наблюдается рост использования цифровых технологий. Не вызывает сомнения, что данный инструментарий создаст предпосылки для ускоренного развития национального сельского хозяйства. Однако нужно учитывать, что использование информационных технологий в АПК – это не только применение информационных технологий, но и обеспечение IT-специалистами (Бьерн, 2018; Добрынин, 2016). Результаты анализа показали, что только 20 % товаропроизводителей региона готовы к цифровизации своих бизнес-процессов, тогда как у остальных (80 %) из-за низкого уровня потенциала и технические возможности, необходимые для цифровизации бизнес-процессов в АПК, ограничены. Они нуждаются в обучении и информационно-консультационной поддержке (Крюков, 2010; Маркова, 2018). По мере охвата цифровыми технологиями разных процессов

¹³ Программа «Цифровая экономика Российской Федерации».

¹⁴ Поле возможностей: цифровые решения для сельского хозяйства. *Ростех*. 21 октября, 2020, из <https://rostec.ru/news/pole-vozmozhnostey-tsifrovye-resheniya-dlya-selskogo-khozyaystva/>

¹⁵ 8 трендов управления персоналом в 2021 году.

¹⁶ Чиж, Н. (2020, 12 марта). «Диджитал Агро»: «Цифровизация АПК имеет колоссальный потенциал». *Диджитал Агро*. <https://specagro.ru/news/202003/cifrovizaciya-apk-imeet-kolossalnyy-potencial>.

¹⁷ «Умное фермерство»: Обзор ведущих производителей и технологий. *Агроэкомиссия*. 17 июня, 2020, из <https://agriecommission.com/base/umnoe-fermerstvo-obzor-vedushchih-proizvoditelei-i-tehnologii>

будут меняться и профессиональные компетенции (путем преобразования в цифровые). Так, если в настоящее время доля компетенций, непосредственно не связанных с информационными технологиями, не превышает 10 %, то к 2030 г. достигнет 80 % [там же].

Большое участие в переходе сельского хозяйства на цифровизацию принимает Госкорпорация Ростех, заключившая с Минсельхозом России соглашение о взаимодействии в области внедрения цифровых технологий в АПК¹⁸. Примерами позитивного сотрудничества являются программные комплексы для управления фермами, роботизированные системы, беспилотники для мониторинга объектов сельского хозяйства, технологии точного земледелия на базе интернета вещей. В частности, беспилотные комплексы, созданные компанией «Zala Aero» концерна «Калашников» используются для аэрофотосъемки сельскохозяйственных угодий. С их помощью оценивается состояние почв и растений, что способствует повышению урожайности земель; оптимизации затрат на удобрения и средства защиты растений; определению территорий, нуждающихся в дополнительном орошении. Особый интерес вызывает использование в сельском хозяйстве искусственного интеллекта, способствующего повышению эффективности работы агронома, который только путем нажатия на точку карты поля может получить полную информацию о состоянии участка земли и необходимые рекомендации (Andreeva, 2018; Bukht, 2018).

Развитие цифровизации сопровождается появлением новых терминов, в частности понятия «цифровая ферма», под которой понимают функционирующую почти без участия человека за счет новых инструментов и технологий (Вишневский, 2021). Целью их создания ставится упрощение деятельности аграрных предприятий и фермеров (от начала сельскохозяйственных работ до сбыта продукции), путем управления всеми процессами в личном кабинете (через web-интерфейс или в мобильном приложении). Внимания заслуживает переход к точному земледелию (с учетом особенностей каждого поля), направленный на выбор более прибыльных сортов, культур для разных климатических условий нашей страны, а также на сокращение потерь ресурсов и уменьшение влияния человеческого фактора. Одним из примеров является отечественная Интеллектуальная информационно-аналитическая системы для «цифрового» растениеводства, разработанная

холдингом АО «НИИИТ» (г. Тверь), обеспечивающая рациональное использование удобрений, исходя из потребностей конкретного участка поля. В основу проекта положена «цифровая карта» сельхозугодий, базирующаяся на данных химического анализа почв. С учетом ее состояния аграриям выдаются рекомендации по оптимальной высадке сельскохозяйственных культур, количеству и типу удобрений, средств защиты растений. Далее карты-задания доводятся до «умной» сельскохозяйственной техники (сеялки, опрыскиватели, разбрасыватели и др.). Ожидаемый экономический эффект от реализации данного проекта будет достигнут за счет сокращения на 25% расходов на семена и удобрения, на 20% – времени холостой работы оборудования и повышения на 15-20% – объемов конечной продукции (Дубская, 2019; Pechenaya, 2018).

Однако цифровая трансформация сельского хозяйства невозможна без наличия специалистов, обладающих соответствующими компетенциями в данной области знаний, и способных применять их на практике (Мартынова, 2019; Семин, 2019). Подготовка персонала является одним из наиболее важных и сложных вопросов цифрового технологического прорыва. Его разрешению будут способствовать постоянное обучение, методическое сопровождение пользователей и оперативная техническая поддержка. Наряду с этим, важно учитывать, что цифровизация невозможна без создания в сельском хозяйстве адекватной информационной среды. Формирование системы информации и знаний – важной части цифровой платформы необходимо, наряду с совершенствованием сельскохозяйственного производства, поиском ниш на международных аграрных рынках, для стабильного развития сельских территорий, повышения уровня жизни сельского населения.

Цифровизация становится одним из ключевых факторов развития сельского хозяйства, обеспечивающего рост производительности, снижение затрат, улучшение процессов труда. Анализ опыта аграрного сектора зарубежных стран показал, что внедрение цифровых технологий создает предпосылки для развития сельских территорий. Однако переходу на цифровые методы работы должен предшествовать ряд мер, включая: создание автоматизированной информационно-аналитической системы и сети информационного обслуживания; проведение исследований и обеспечение развития электронного рынка,

¹⁸ Поле возможностей: цифровые решения для сельского хозяйства.

формирование современной системы планирования; выполнение показателей социально-экономического развития аграрного сектора и др. По-прежнему важными проблемами остаются формирование информационной базы данных и знаний, а также развитие сети консультационных и консалтинговых служб, на которые следует возложить массовое распространение информации, обучение и консультирование, проведение исследований в области цифровизации, разработка инвестиционных бизнес-проектов и т.д. (Сологуб, 2021) Для определения степени готовности предприятий АПК к внедрению цифровых технологий необходимо знать основополагающие программные документы, понимать информационное состояние отрасли и наличие инструментария, позволяющего достичь намеченных результатов. Развитие цифровой платформы и совершенствование на ее базе инновационных информационно-коммуникационных технологий рекомендуется возложить на информационно-консультационные службы (ИКС), сформированные в регионах страны для оказания услуг сельхозпроизводителям (Крюков, 2010; Лидин, 2012). Одним из условий успешной реализации данного мероприятия должно стать переобучение или повышение квалификации персонала ИКС для приобретения компетенций в области использования и внедрения информационных и компьютерных технологий.

Решение данных задач должно осуществляться путём ужесточения ответственности за реализацию всего комплекса намеченных мероприятий в дорожных картах. При формировании цифровой платформы, для создания которой требуются инвестиции на модернизацию парка оборудования (Хасаншин, 2019).

Однако данное исследование нельзя считать исчерпывающим. Поскольку установлена необходимость инвестиций, связанных с информатизацией производства и подготовкой кадров к работе с цифровыми технологиями. В этой связи, дальнейшего исследования требует подготовка сельскохозяйственных работников к грядущим изменениям (получение соответствующих компетенций). Поскольку данная проблема относится к разряду сложных, она требует особого внимания в плане методологии, практики и мониторинга за вне-

дрением цифровых технологий, учета передового опыта и внесения в методику уточнений и дополнений, что указывает на необходимость продолжения научных исследований.

Заключение

В условиях глобализации для повышения конкурентоспособности своей продукции Россия должна принять вызовы цифровизации и активно внедрять IT-технологии в сельское хозяйство. Цифровые технологии позволяют контролировать полный цикл растениеводства или животноводства – «умные» устройства измеряют и передают параметры почвы, растений, микроклимата и т.д. Все эти данные с датчиков, дронов и другой техники анализируются специальными программами. Мобильные или онлайн-приложения приходят на помощь фермерам и агрономам – чтобы определить благоприятное время для посадки или сбора урожая, рассчитать схему удобрений, спрогнозировать урожай и многое другое. Внедрение передовых информационных технологий сократит объем ручного труда и расходы, повысив при этом производительность и урожайность.

Цифровизация поможет агропромышленному комплексу России совершить мощный скачок вперед. Однако для получения максимального эффекта необходимо взаимодействие всех экономических субъектов, включая государство.

Главной рекомендацией для действий правительства должно стать совершенствование нормативного регулирования в секторе исследований и подготовки специалистов посредством создания и предоставления эффективной инфраструктуры данных, посредством соответствующей финансовой господдержки и обеспеченности персоналом, а также стимулов к все большей предпринимательской и научно-исследовательской личной инициативе.

Возможности цифровизации удастся оптимально использовать только в том случае, если одновременно вовремя уменьшить риски (например, процессы возрастающей концентрации) благодаря активному формированию нормативной базы. Это также уже обосновано ожидаемой в будущем вы-

¹⁹ Ершкова, А.И., & Шибяев, О.Д. (2021). Цифровые технологии. Форма федерального статистического наблюдения № 3-информ «Сведения об использовании цифровых технологий и производстве связанных с ними товаров и услуг». https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Pon_opr_ikt.pdf.

²⁰ Матосова, О.А. (2021). Инновации. Форма федерального статистического наблюдения № 3-информ «Сведения об использовании цифровых технологий и производстве связанных с ними товаров и услуг». https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/innov_pon.pdf

сокой зависимостью производственных процессов от инновационных технологий.

Литература

- Абдрахманова, Г. И., Вишневский, К.О. Гохберг, Л. М. (2019). Что такое цифровая экономика? Тренды, компетенции, измерение. (с.82) М.: НИУ ВШЭ.
- Бабанов, В.Н. (2017). Факторы и проблемы развития цифровой экономики в России. *Известия Тульского государственного университета. Экономические и юридические науки*, 255-262.
- Бабкин, А.В., Буркальцева, Д.Д., Костень, Д.Г., & Воробьев, Ю.Н. (2017). Формирование цифровой экономики в России: сущность, особенности, техническая нормализация, проблемы развития. *π-Econoty*, 3 (10), 9-25.
- Баранов, Д.Н. (2018). Сущность и содержание категории «цифровая экономика». *Вестник Московского университета имени С. Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление*, 2 (25), 15-23.
- Бьерне, Д., & Годжаев, Т.З. (2018). Цифровизация сельскохозяйственного производства России на период 2018-2025гг. (с. 8-15). М.: Проект «Германо-Российский аграрно-политический диалог», Кооперационный проект Федерального министерства продовольствия и сельского хозяйства.
- Вартанова, М.Л., & Дробот, Е.В. (2018). Перспективы цифровизации сельского хозяйства как приоритетного направления импортозамещения. *Экономические отношения*, 1, 5-23.
- Вишневский, К.О., Гохберг, Л.М., & Дементьев, В.В. (2021). Цифровые технологии в российской экономике. (с. 89-102). М.: НИУ ВШЭ.
- Добрынин, А.П., Черных К.Ю., Куприяновский, В.П., & Куприяновский, П.В. (2016). Цифровая экономика - различные пути к эффективному применению технологий (BIM, PLM, CAD, IOT, Smart City, BIG DATA и другие). *International Journal of Open Information Technologies*, 1 (4), 4-10.
- Дубская, Л.М., Комисова, Н.А. (2019). On the definition of digital economy. *Молодой ученый*, 21 (259), 192-194.
- Капранова, Л.Д. (2018). Цифровая экономика в России: состояние и перспективы развития. *Экономика. Налоги. Право*, 2, 58-69.
- Кешелава, А.В., Буданов, В.Г., Дмитров, И.Д., Кешелава, В.Б., Румянцев, В.Ю., Сорокин, К.С., Хаэт, И.Л., & Щербаков, А.В. (2017). Введение в «Цифровую» экономику. На пороге «цифрового будущего». Книга первая (с. 12-22). М.: ВНИИГеосистем.
- Крюков, С.В. (2010). Форсайт: от прогноза к формированию будущего. *Terra Economicus*, 8 (3), 7-17.
- Лидин, К.Л. (2012). Многообразие построения дорожных карт. *Виртуальная ассоциация исследований*, 32, 15-25.
- Малаякина, Л.И. (2017). Цифровая экономика: анализ основных подходов к определению. *Образование и наука без границ: фундаментальные и прикладные исследования*, 6, 198-202
- Маркова, В.Д. (2018). Цифровая экономика. Цифровая экономика. (с. 98-116). М.: Научно-издательский центр ИНФРА-М.
- Мартынова, М.Э., & Камшилов, С.Г. (2019). Цифровые технологии в управлении персоналом компании. *Общество, экономика, управление*, 4, 69 – 74.
- Семина, А.Н. (2019). Приоритетные направления агроэкономических исследований научно-технологического развития АПК России. *Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий*, 1, 2-6.
- Сологуб, Н.Н., Уланова, О.И., Остробородова, Н.И., & Остробородова, Д.А. (2021). Проблемы и перспективы цифровых технологий в сельском хозяйстве. *Международный сельскохозяйственный журнал*, том 64, № 4 (382), 28-30
- Сударушкина, И.В., & Стефанова, Н.А. (2017). Цифровая экономика. *Азимут научных исследований: экономика и управление*, 1 (18), 182-184.
- Ткаченко, И.Н., & Стариков, Е.Н. (2020). Цифровая экономика: основные тренды и задачи развития. *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Экономика. Управление. Право*, 3 (20), 244-255.
- Труфляк, Е.В. (2021). Результаты анкетирования по направлению «Цифровизация АПК». (с. 12-22). Краснодар: КубГАУ.
- Хасаншин, И.А., Кудряшов, А.А., Кузьмин, Е.В., & Крюкова, А.А. (2019). Цифровая экономика. (с. 195-234). М.: Горячая линия-Телеком.
- Хоменко, Е.Б. (2022). Введение в цифровую экономику: потребители, рынки, регионы, отрасли. (с. 28-64). Ижевск: Издательский центр «Удмуртский университет».
- Приказ Минцифры России № 49 от 01.02.2021 «Об определении способа перечисления из федерального бюджета субсидии автономной некоммерческой организации «Университет Национальной технологической инициативы 2035» на проведение обучения по дополнительным профессиональным программам с использованием мер государственной поддержки для получения новых востребованных на рынке труда цифровых компетенций и обеспечение достижения отдельных результатов федераль-

ного проекта «Кадры для цифровой экономики» с применением казначейского обеспечения обязательств»

Andreeva, A.N., & Mizova, E.M. (2018). Digital economy: new business opportunities. *Journal of Economy and Business*, 4, 19-21.

Bukht, R., & Heeks, R. (2018). Defining, Conceptualising and Measuring the Digital Economy. *Journal International Organisations Research*, 13 (2), 143-172.

Colin, N., Landier, A., Mohnen, P., & Perrot, A. (2015). The Digital Economy. *In Notes du conseil d'analyse économique*, 7 (26), 1-12

Pechenaya, L.T., Ivanova-Shvets, L.N., Bogomolova, I.P., Domarev, I.E., & Bogomolov, A.V. (2018). Evaluation of technical and economic level of enterprises in the aspect of formation of the digital technology platform. *11TH international conference of education, research and innovation (ICERI2018), Seville, Spain*, 4605-4612.

Digitalization is the Main Vector of Development Russian Agriculture

Mikhail G. Balykhin

Moscow state University of food production
125080, Moscow, Volokolamskoe sh., 11
E-mail: mgupp@mgupp.ru

Elena Yu. Astrakhantseva

Moscow state University of food production
125080, Moscow, Volokolamskoe sh., 11
E-mail: astra31@gmail.com

The development of the “digital” economy in Russia is an important strategic direction that determines the competitiveness of the country in the national and global market. In order to determine the sufficiency of measures taken to increase the digitalization coverage of agriculture in the Russian Federation, the state and trends in the development of digital technologies in the industry are analyzed. Along with this, Russia’s place in the ranking of world states on the use of the digital economy and the use of technologies intended for this purpose has been established, the reasons preventing their development have been identified. The obtained results showed that the lag in the field of digitalization is especially characteristic of agriculture, despite the objective predisposition of agricultural production to the use of digital technologies. The hypothesis is put forward that the measures taken by the Ministry of Agriculture of the Russian Federation, regional agribusiness management bodies, agro-industrial organizations and farms will contribute to leveling the separation of the industry from other spheres of the economy based on the problems identified during the analysis and substantiation of recommendations in the field of digitalization of various spheres of the agro-industrial complex.

Keywords: Digitalization, agriculture, digital technologies, informatization, crop production, animal husbandry.

References

- Babanov, V.N. (2017). Factors and problems of digital economy development in Russia. *Proceedings of Tula State University. Economic and Legal Sciences*, 255-262.
- Babkin, A.V., Burkaltseva, D.D., Kosten, D.G., & Vorobyev, Yu.N. (2017). Formation of the digital economy in Russia: essence, features, technical normalization, development problems. *π-Economy*, 3 (10), 9-25.
- Baranov, D.N. (2018). The essence and content of the category “digital economy”. *Bulletin of the S. Y. Witte Moscow University. Series 1: Economics and Management*, 2 (25), 15-23.
- Bjerne, D., & Gojaev, T.Z. (2018). Digitalization of agricultural production in Russia for the period 2018-2025 (pp. 8-15). Moscow: Project “German-Russian Agrarian-political dialogue”, a cooperative project of the Federal Ministry of Food and Agriculture.
- Vartanova, M.L., & Drobot, E.V. (2018). Prospects of digitalization of agriculture as a priority area of import substitution. *Economic Relations*, 1, 5-23.
- Vishnevsky, K.O., Gokhberg, L.M., & Dementiev, V.V. (2021). Digital technologies in the Russian economy. (pp. 89-102). Moscow: HSE.
- Dobrynin, A.P., Chernykh K.Yu., Kupriyanovsky, V.P., & Kupriyanovsky, P.V. (2016). Digital economy – various ways to effectively apply technologies (BIM, PLM, CAD, IOT, Smart City, BIG DATA and others). *International Journal of Open Information Technologies*, 1 (4), 4-10.
- Dubskaya, L.M., Komisova, N.A. (2019). On the definition of digital economy. *Young Scientist*, 21 (259), 192-194.
- Kapranova, L.D. (2018). Digital Economy in Russia: state and prospects of development. *Economy. Taxes. Law*, 2, 58-69.
- Keshelava, A.V., Budanov, V.G., Dmitrov, I.D., Keshelava, V.B., Rumyantsev, V.Yu., Sorokin, K.C., Khayet, I.L., & Shcherbakov, A.V. (2017). Introduction to the “Digital” Economy. On the threshold of the “digital future”. The first book (p. 12-22). Moscow: VNIIGeosistem.
- Karenov, R.S., & Baymukhamedova, G.S. (2019). Innovative solutions based on the creation, imple-

- mentation and commercialization of digital technologies. *Herald of Kurgu. Economics Series*, 1, 84-97.
- Kryukov, S.V. (2010). Foresight: from forecasting to shaping the future. *Terra Economicus*, 8 (3), 7-17.
- Lidin, K.L. (2012). The variety of building road maps. *Virtual Research Association*, 32, 15-25.
- Malyavkina, L.I. (2017). Digital economy: analysis of the main approaches to definition. *Education and Science Without Borders: Fundamental and Applied Research*, 6, 198-202
- Markova, V.D. (2018). Digital economy. Digital economy. (pp. 98-116). Moscow: INFRA-M Scientific Publishing Center.
- Martynova, M.E., & Kamshilov, S.G. (2019). Digital technologies in the company's personnel management. *Society, economics, Management*, 4, 69-74.
- Semin, A.N. (2019). Priority directions of agroecological research of scientific and technological development of the agro-industrial complex of Russia. *Economics of agricultural and processing enterprises*, 1, 2-6.
- Sologub, N.N., Ulanova, O.I., Ostroborodova, N.I., & Ostroborodova, D.A. (2021). *Problems and prospects of digital technologies in agriculture. International Agricultural Journal, Volume 64, 4 (382)*, 28-30
- Sudarushkina, I.V., & Stefanova, N.A. (2017). Digital economy. *Azimuth of Scientific Research: Economics and Management*, 1 (18), 182-184.
- Tkachenko, I.N., & Starikov, E.N. (2020). Digital economy: the main trends and challenges of development. *News of Saratov University. A new series. Economics series. Management. Law*, 3 (20), 244-255.
- Truflyak, E.V. (2021). The results of the survey in the direction of "Digitalization of the agroindustrial complex". (pp. 12-22). Krasnodar: KubGAU.
- Khasanshin, I.A., Kudryashov, A.A., Kuzmin, E.V., & Kryukova, A.A. (2019). Digital economy. (pp. 195-234). M.: Hotline-Telecom.
- Khomenko, E.B. (2022). Introduction to the digital economy: consumers, markets, regions, industries. (pp. 28-64). Izhevsk: Publishing Center "Udmurt University".
- Andreeva, A.N., & Mizova, E.M. (2018). Digital economy: new business opportunities. *Journal of Economy and Business*, 4, 19-21.
- Bukht, R., & Heeks, R. (2018). Defining, Conceptualising and Measuring the Digital Economy. *Journal International Organisations Research*, 13 (2), 143-172.
- Colin, N., Landier, A., Mohnen, P., & Perrot, A. (2015). The Digital Economy. *In Notes du conseil d'analyse économique*, 7 (26), 1-12
- Pechenaya, L.T., Ivanova-Shvets, L.N., Bogomolova, I.P., Domarev, I.E., & Bogomolov, A.V. (2018). Evaluation of technical and economic level of enterprises in the aspect of formation of the digital technology platform. *11TH international conference of education, research and innovation (ICERI2018), Seville, Spain*, 4605-4612.

Разработка компонентного состава сухих композитных смесей для заварных сортов хлеба улучшенной пищевой ценности

Акулич Александр Васильевич

*Белорусский государственный университет
пищевых и химических технологий*

Адрес: 212027, Беларусь, город Могилев, пр-т Шмидта, 3

E-mail: akulichav57@mail.ru

Самуйленко Татьяна Дмитриевна

*Белорусский государственный университет
пищевых и химических технологий*

Адрес: 212027, Беларусь, город Могилев, пр-т Шмидта, 3

E-mail: tatasam@tut.by

Тимакова Роза Темерьяновна

Уральский государственный экономический университет

Адрес: 620144, Свердловская обл., Екатеринбург, ул. 8 Марта, 62/45

E-mail: trt64@mail.ru

Для улучшения пищевой ценности заварных сортов хлеба предлагается использовать в составе сухих композитных смесей нетрадиционные сырьевые компоненты растительного происхождения, что является актуальным направлением для производства хлеба улучшенной пищевой ценности и имеет научно-практическое значение в существующих условиях импортозамещения в Республике Беларусь и Российской Федерации. Цель исследования заключается в обоснованном выборе сырьевых компонентов для сухих композитных смесей, используемых в качестве единственной основы для производства заварных сортов хлеба ускоренным одностадийным способом, и последующей разработке рецептур с рациональным соотношением ингредиентов по показателям качества готового хлеба. Выбор сырьевых компонентов основывался на особенностях их химического состава по содержанию протеина, клетчатки, минеральных веществ, редуцирующих сахаров и ряде технологических свойств в зависимости от вида сырьевых компонентов (автолитическая активность, экстрактивность, кислотность, подъемная сила). Состав сухих композитных смесей разрабатывали с использованием симплекс оптимизации. Показатели качества заварных сортов хлеба на основе сухих композитных смесей исследовали по органолептической 100-балльной оценке, пористости, формоустойчивости. Установлено, что в составе сухих композитных смесей для производства заварных сортов хлеба целесообразно использовать следующие сырьевые компоненты: муку ржаную сеяную и обдирную; муку пшеничную первого сорта; дрожжи хлебопекарные сухие инстантные; соль пищевую йодированную высшего и первого сорта; муку ржаную экструдированную; солод ржаной ферментированный сухой после 2–3 суток проращивания; сыворотку молочную сухую кислую; плодоовощные порошки из свеклы, моркови, топинамбура и яблок. В соответствии с запросами производства и потребителя рынка разработаны сухие композитные смеси для заварных сортов хлеба улучшенной пищевой ценности с добавлением плодоовощных порошков с наилучшими критериями оценки качества готовых изделий. Использование таких сухих композитных смесей позволяет улучшить пищевую ценность заварных сортов хлеба по содержанию пищевых волокон, минеральных веществ, мобилизовать технологический процесс, стабилизировать потребительские свойства и показатели качества заварных сортов хлеба, производимых по ускоренной технологии, снизить энергетические затраты и затраты, связанные с хранением дополнительных сырьевых компонентов и их подготовкой.

Ключевые слова: сухие композитные смеси; заварные сорта хлеба; плодоовощные порошки; компонентный состав; пищевая ценность

Введение

Трансформация мировой экономики способствует формированию прорывных технологий в от-

раслях пищевой промышленности и усилению продовольственной безопасности на национальном уровне разных стран. Производство пищевой продукции функционального назначения с за-

данными характеристиками качества в результате применения инновационных технологических приемов обогащения ценными нетрадиционными сырьевыми компонентами отвечает принципам здорового питания согласно Стратегии повышения качества и безопасности пищевой продукции в Республике Беларусь до 2030 года и Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года.

На современном этапе развития пищевой промышленности перспективным направлением является разработка пищевых продуктов, которые удовлетворяют индивидуальные потребности организма человека на основе его генетического профиля и с учетом так называемых «генов предрасположенности», связанных с усвоением определенных пищевых нутриентов. Постоянное потребление таких пищевых продуктов способствует формированию полезных пищевых привычек. Пищевые продукты могут разрабатываться как для больших групп населения, так и индивидуально в зависимости от возраста, пола, рода деятельности, состояния здоровья и других факторов (Сарычева и др., 2019).

Производство продуктов мукомольной и хлебопекарной отраслей пищевой промышленности относятся к продуктам повседневного спроса и отличаются высокой устойчивостью экономического роста ($K \geq 0,6$).

При этом состав хлебобулочных изделий является результатом нескольких факторов, включая генотипы разных зерновых культур, агрономические обработки, условия окружающей среды, состав муки и используемую технологию производства и хранение готового продукта (Parentiet et al., 2020).

В последние годы наиболее востребованными среди хлебобулочных изделий являются заварные сорта хлеба из ржаной муки и смеси ржаной и пшеничной муки. Они отличаются высокими потребительскими свойствами, высокой степенью усвоения макро- и микронутриентов, вносимых биологически активных веществ и предназначены для категорий населения с нормальной и пониженной кислотностью желудка, что характерно для генотипа людей, проживающих на территории современной Республики Беларусь, Российской Федерации, Северных регионов Украины и стран Прибалтики. Кроме того, можно отметить более низкий гликемический индекс в хлебе с использованием ржаной

муки (65) в отличие от хлебобулочных изделий с использованием пшеничной муки (до 100), что рационально при формировании пищевого рациона для лиц, страдающих избыточной массой тела или диабетом второго типа. Стоит отметить, что производство заварных сорта хлеба, преимущественно, осуществляется с использованием многостадийных технологий, включающих подготовку сырьевых компонентов, получение непрерывно приготавливаемых полуфабрикатов. Такой технологический процесс является весьма продолжительным и может занимать до 24 ч. При этом использование сухих композитных смесей в качестве единственной основы для производства заварных сортов хлеба является весьма перспективным направлением, особенно для предприятий малой мощности, производственных цехов торговых объектов, объектов общественного питания и в условиях домохозяйств. Дополнительное применение местного нетрадиционного растительного сырья в рецептурном составе заварных сортов хлеба позволяет улучшить его состав по отдельным пищевым веществам (Kiharason et al., 2017; Timakova et al., 2021; Березина и др., 2020; Мустафаева & Загиров, 2021; Прокопец и др., 2014; Хмелева, 2017).

Применение сухих композитных смесей имеет большое количество преимуществ, к которым можно отнести (Диваков, Назаренко, & Кондратенко, 2007; Стабровская и др., 2009; Танирхан и др., 2020; Березина и др., 2020):

- возможность проектирования рецептурного состава по отдельным пищевым веществам в зависимости от направления разрабатываемых сухих композитных смесей;
- длительные сроки их хранения (до 6 месяцев и более);
- расширение ассортимента производимой пищевой продукции на основе сухих композитных смесей;
- уменьшение продолжительности технологического процесса приготовления заварных сортов хлеба на основе сухих композитных смесей;
- снижение себестоимости производимой пищевой продукции на основе сухих композитных смесей за счет исключения затрат, связанных с особенностями хранения, подготовки, транспортирования отдельных видов сырьевых компонентов.

Разработанные на сегодняшний день рецептуры сухих композитных смесей предназначены преимущественно для производства хлебобулочных

изделий из пшеничной муки. В то же время, использование сухих композитных смесей для производства хлебобулочных изделий из ржаной муки весьма ограничено и имеет ряд особенностей. Во-первых, такие смеси не являются единственной основой в технологическом процессе. Во-вторых, при применении некоторым сухих композитных смесей требуется дополнительная корректировка отдельных технологических параметров или технологических стадий, что препятствует интенсификации процесса в целом. Например, в качестве альтернативного решения в этом направлении предлагается моделирование процесса выпечки хлебобулочных изделий (Герасимова и др., 2020).

Не на последнем месте стоит и вопрос о разработке сухих композитных смесей для заварных сортов хлеба улучшенной пищевой ценности. При этом следует учитывать воздействие дополнительных и/или нетрадиционных сырьевых компонентов как на протекание технологического процесса (Кузнецова и др., 2020), так и на безопасность получаемого пищевого продукта для конечного потребителя (Танирхан и др., 2020). Это требует, как правило, осуществление различных видов контроля (Беркетова & Перов, 2018).

В то же время следует отметить, что на современном этапе развития хлебопекарной отрасли отсутствуют сухие композитные смеси для заварных сортов улучшенной пищевой ценности, которые бы использовались в качестве единственной основы в процессе тестоприготовления (Диваков и др., 2007).

Применение отдельных видов сырьевых компонентов в составе сухих композитных смесей и достигаемый технологический эффект в готовом продукте базируется на соотношении этих компонентов, их химическом составе, органолептических показателях, физико-химических, технологических и функциональных свойствах (Стабровская и др., 2009; Токтарканова & Мусатова, 2020).

Использование тех или иных сырьевых компонентов обусловлено назначением разрабатываемого ассортимента. Так, для регулирования гликемического воздействия при употреблении хлебобулочных изделий предлагается внесение в рецептурный состав муки бобовых культур, в частности нута (Вајка et al., 2021), муки топинамбура, амаранта, конопляной муки и шелухи, порошков из яблок с овсяными отрубями (Burnete et al., 2020; Алехина и др., 2021; Шмалько, 2021). Кроме

того, применение некоторых сырьевых компонентов, например, амарантовой муки может дополнительно способствовать улучшению хлебопекарных свойств ржаной муки.

Для повышения содержания в хлебобулочных изделиях пектиновых веществ, отдельных витаминов, минеральных веществ, биофлавоноидов в рецептурный состав вносят продукты переработки плодов и овощей, например, яблочные выжимки (Sardarodiyani & Sani, 2016; Заикина и др., 2021; Ковалева и др., 2020; Тимакова, 2020), пюре свеклы и шпината (Грязина, 2020), морковный, свекловичный жом и жом из топинамбура (Melini et al., 2020; Shevtsov et al., 2017). С этой же целью используют фитосырье, например, морошку (Нилова и др., 2018).

Исходя из вышесказанного, и в соответствии с запросами производства и потребительского рынка, разработка сухих композитных смесей для заварных сортов хлеба улучшенной пищевой ценности является актуальным направлением в хлебопечении и представляет научный и практический интерес. Разработка инновационного пищевого продукта позволит улучшить его пищевую ценность, мобилизовать технологический процесс, стабилизировать потребительские свойства и показатели качества заварных сортов хлеба, производимых по ускоренной технологии, снизить энергетические затраты и затраты, связанные с хранением дополнительных сырьевых компонентов и их подготовкой.

Целью исследования является обоснование подбора местных нетрадиционных сырьевых компонентов растительного происхождения для сухих композитных смесей, используемых в качестве единственной основы для одностадийной технологии производства заварных сортов хлеба улучшенной пищевой ценности и разработка их рецептурного состава

Материалы и методы исследования

Объекты исследования

В качестве объектов исследования выступили компоненты рецептурного состава сухих композитных смесей для заварных сортов хлеба улучшенной пищевой ценности. Использована мука ржаная (сеяная, обдирная, обойная), мука пшеничная хлебопекарная первого и второго сортов производства ОАО «Минский комбинат хлебопродуктов» (Республика Беларусь), ОАО «Лидяхлебо-

продукт» (Республика Беларусь), группы компаний «Алтайские мельницы» (Российская Федерация), АО «МАКФА» (Российская Федерация). Используются дрожжи хлебопекарные инстантные ОАО «Дрожжевой комбинат» (Республика Беларусь), «Каждый день» ООО «Распак» (Российская Федерация), дрожжи сушеные «Домашняя кухня» ООО «Топпродукт» (Российская Федерация), дрожжи сушеные инстантные «Ракмау» (Турция), «Невада» Lesaffre (Франция) и «Нефе» (Германия). Используются солод ржаной производства ОАО «Белсолод», соль поваренная пищевая ОАО «Мозырьсоль», сыворожка молочная сухая подсырная, творожная и казеиновая молочнокислотная (молочная кислая) производства ОАО «Бабушкина крынка» и ОАО «Молочные горки» (Республика Беларусь), сухие плодоовощные порошки моркови, топинамбура, свеклы, яблок.

Методы и инструменты

Для оценки особенностей химического состава, показателей качества и свойств сырьевых компонентов использовали следующие методы.

Запах и вкус в муке оценен органолептически, ее массовая доля влаги определена ускоренным методом высушивания с использованием сушильного электрошкафа. Кислотность муки определена методом титрования по болтушке. Автолитическая активность муки установлена стандартным методом путем постепенного прогрева водно-мучной суспензии с последующим измерением количества образовавшихся водорастворимых веществ на рефрактометре. Подъемная сила дрожжей определена ускоренным методом. Экстрактивность солода ржаного ферментированного установлена пикнометрическим определением плотности вытяжки, полученной методом холодного экстрагирования. Кислотность сыворожки сухой определена методом титрования.

Массовая доля протеина в плодоовощных порошках определена по методу Кьельдаля на приборе Kjeltex® 2200, массовая доля клетчатки – по методу Кюшнера и Ганека, массовая доля минеральных веществ – методом озоления, активная кислотность – потенциометрическим методом, массовая доля редуцирующих сахаров – перманганатным методом.

Органолептические показатели заварных сортов хлеба на основе сухих композитных сме-

сей оценены по методике 100-балльной оценки качества хлебобулочных изделий, которая комплексно отражает наиболее важные показатели качества хлебобулочных изделий, определяемые органолептическими методами с учетом значимости каждого показателя. Пористость заварных сортов хлеба установлена методом, заключающимся в определении массы выемок с использованием пробника Журавлева. Формоустойчивость заварных сортов хлеба на основе сухих композитных смесей определена, как соотношение высоты к диаметру подового образца, полученного при пробной лабораторной выпечки.

Процедура исследований

На первом этапе исследования была проведена комплексная оценка рецептурных компонентов для последующего обоснованного выбора по каждому из них. На втором этапе исследования было рассчитано оптимальное соотношение рецептурных компонентов в составе сухих композитных смесей для заварных сортов хлеба методом планирования эксперимента. При этом применили двухфакторный центральный рототабельный композиционный план, на основании которого было выявлено взаимное влияние используемых рецептурных компонентов. На третьем этапе были разработаны рациональные рецептуры сухих композитных смесей для заварных сортов хлеба улучшенной пищевой ценности, получены образцы готовой продукции и оценены ее показатели качества.

Анализ данных

Результаты обработаны методом вариационной статистики. Разработка рецептурного состава сухих композитных смесей осуществлялась с помощью программы Som – Simplex Optimization of Mixtures.

Результаты

Исследованы органолептические, физико-химические и хлебопекарные показатели качества муки ржаной и пшеничной. Мука ржаная (сеяная, обдирная и обойная), вырабатываемая мукомольными предприятиями Республики Беларусь и Российской Федерации, соответствовала требованиям ГОСТ 7045–2017 «Мука ржаная хлебопекарная. Технические условия»¹,

¹ ГОСТ 7045–2017. (2019). *Мука ржаная хлебопекарная. Технические условия*. М.: Стандартинформ.

мука пшеничная – соответственно требованиям ГОСТ 26574–2017 «Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия»². Запах и вкус образцов муки – свойственные ржаной и пшеничной муке соответственно, без посторонних запахов и вкуса.

Существенную роль при оценке качества муки ржаной играет показатель «автолитическая активность», который позволяет прогнозировать возможность ее использования в качестве сырьевого компонента сухих композитных смесей и получения на их основе заварных сортов хлеба со стабильно высокими потребительскими свойствами без дополнительного изменения технологических параметров. Оптимальным значением является величина показателя в диапазоне 41,0 % – 55,0 %. Соответственно наиболее целесообразно использовать муку ржаную сеяную и муку ржаную обдирную.

Пшеничная мука, подвергавшаяся оценке, содержала в своем составе клейковину не ниже II группы качества. Кислотность муки пшеничной первого и второго сорта должна составлять не более 3,5 град. и 4,5 град. соответственно. Для образцов муки второго сорта марок М12–25 и М12–22 показатель кислотности изменялся в пределах от 4,2 до 4,6 град. Для муки пшеничной второго сорта всех исследуемых марок показатель «автолитическая активность» выше рекомендуемых значений (то есть более 30 %). Отклонение этого показателя влияет на технологический процесс производства заварных сортов хлеба. На основании представленных результатов в качестве сырьевых компонентов в составе сухих композитных смесей целесообразно использовать муку пшеничную первого сорта марок М36–30, М36–27 и М36–23.

В качестве разрыхлителей, которые предлагается использовать в составе сухих композитных смесей, были выбраны дрожжи хлебопекарные сушеные, отличающиеся своей способностью равномерного распределения в сухих смесях и длительного сохранения своей ферментативной активности. Для интенсификации технологического процесса целесообразно предпочтение отдавать дрожжам сухим инстантным (быстродействующим) с высокой подъемной силой, характеризующей способность дрожжей разрыхлять тесто и формировать пористость хлеба. В Республике Беларусь рынок дрожжей сушеных представлен разными производителями. Исследование подъ-

емной силы дрожжей сушеных разных производителей показало следующие результаты: дрожжи сушеные инстантные ОАО «Дрожжевой комбинат» (Республика Беларусь) – 48±2 мин, дрожжи сушеные «Каждый день» ООО «Распак» (Российская Федерация) – 74±2 мин, дрожжи сушеные «Домашняя кухня» ООО «Топпродукт» (Российская Федерация) – 78±2 мин, дрожжи сушеные инстантные «Ракмауа» (Турция) – 54±2 мин, дрожжи сушеные инстантные «Невада» Lesaffre (Франция) – 48±2 мин, дрожжи сушеные инстантные «Нефе» (Германия) – 50±2 мин. Выбор дрожжей в условиях импортозамещения был остановлен на дрожжах белорусского производителя ОАО «Дрожжевой комбинат», не уступающих по технологическим характеристикам зарубежным аналогам.

Соль пищевая используется в качестве вкусовой добавки и способствует усилению действия ароматических компонентов хлеба, снижению автолитической и протеолитической активности ферментов муки, что приводит к улучшению реологических свойств полуфабрикатов на основе сухих композитных смесей. В пищевой промышленности на территории Республики Беларусь и Российской Федерации рекомендовано использование соли пищевой йодированной, имеющей профилактическую направленность. Выбор определенного сорта и крупности соли пищевой йодированной обусловлен направлением ее использования. При использовании соли пищевой йодированной в качестве сырьевого компонента сухих композитных смесей для производства заварных сортов хлеба она должна иметь размер частиц близкий к размеру частиц других компонентов для равномерного распределения в составе сухих композитных смесей. Поэтому целесообразно использовать соль пищевую йодированную высшего или первого сорта помола №0.

Выбор дополнительных сырьевых компонентов обусловлен направлением использования сухих композитных смесей для разных пищевых продуктов и технологичностью производственного цикла. Для производства заварных сортов хлеба только на основе сухих композитных смесей в качестве дополнительных компонентов предлагается использовать муку ржаную экструдированную, солод ржаной ферментированный сухой и сыворотку молочную сухую.

Мука ржаная экструдированная (экструзионная) используется для интенсификации технологи-

² ГОСТ 26574-2017. (2018). *Мука пшеничная хлебопекарная. Технические условия*. М.: Стандартинформ.

ческого процесса и исключения трудоемкой и длительной стадии получения заварки, отличается пониженным содержанием жира и влияет на потребительские свойства заварных сортов хлеба, его пористость и микробиологическую стабильность, увеличивая сроки хранения готовой продукции. Мука ржаная экструдированная, производимой пищевыми предприятиями Республики Беларусь, имеет свойственные органолептические показатели, массовую долю влаги ($9,2 \pm 0,4$ %), кислотность ($3,8 \pm 0,2$) град. и повышенной автолитической активностью до 68 ± 2 % по сравнению с ржаной мукой, что позволит использовать этот сырьевой компонент в меньшем количестве в составе сухих композитных смесей.

Солод ржаной ферментированный сухой используется в хлебопечении с целью формирования вкусо-ароматического комплекса за счет высокого содержания специфических экстрактивных веществ. При исследовании образцов солода ржаного ферментированного сухого, производимого предприятиями пищевой отрасли Республики Беларусь с использованием различных технологических приемов, установлено, что показатели качества солода ржаного сухого существенно варьируются в зависимости от продолжительности его проращивания.

Солод после 2 и 3 дней проращивания имеет высокие показатели массовой доли экстракта в сухом веществе солода – (50 ± 2) % и (56 ± 2) % соответственно при нормируемом значении – не менее 42 %, что позволит производить хлеб на основе сухих композитных смесей с более ярко выраженной вкусо-ароматической характеристикой при его меньшем содержании.

Использование сыворотки молочной сухой в качестве сырьевого компонента обусловлено ее свойствами, которые она проявляет в ходе технологического процесса приготовления хлеба ускоренными способами. Технологические свойства сыворотки молочной сухой связаны с ее химическим составом: органические кислоты, повышая начальную кислотность полуфабрикатов, способствуют интенсификации коллоидных и биохимических процессов; аминокислоты, макро- и микроэлементы повышают бродильную активность микроорганизмов. При этом происходит улучшение цвета заварных сортов хлеба за счет усиления реакции Майера, появление приятного молочного привкуса и аромата, увеличение удельного объема и продление сроков хранения хлеба.

В зависимости от используемого молочного сырья преимущественно вырабатывается сыворотка молочная сухая: подсырная, творожная и казеиновая молочнокислотная (молочная кислая). Выбор сыворотки молочной сухой целесообразно осуществлять по показателю кислотности, который для названных ее видов составил ($20,4 \pm 0,2$), ($65,3 \pm 0,3$) и ($82,6 \pm 0,2$) °Т соответственно. Более высокие значения показателя кислотности обеспечивают интенсификацию технологического процесса производства заварных сортов хлеба на основе сухих композитных смесей. Поэтому в качестве сырьевого компонента в этом случае целесообразно использовать сыворотку молочную сухую кислую.

Для улучшения пищевой ценности заварных сортов хлеба предлагается использовать в составе сухих композитных смесей нетрадиционные сырьевые компоненты растительного происхождения, что позволяет производить готовый продукт массового потребления с улучшенной пищевой ценностью. Это позволит сориентировать рынок хлебобулочных изделий в сторону хлеба, максимально отвечающего требованиям рационального питания (Косован & Шапошников, 2016).

Перспективными сырьевыми компонентами, являющиеся источниками незаменимых биологически активных веществ, могут выступать продукты переработки плодов и овощей в сушеном виде (выжимки, кусочки, порошки). Наиболее распространенными среди таких продуктов, вырабатываемых как в Республике Беларусь, так и в Российской Федерации являются морковь сушеная, свекла сушеная, топинамбур сушеный и яблоки сушеные в порошкообразном виде. Результаты оценки показателей качества и химического состава плодоовощных порошков представлены в Таблице 1. Запах и вкус сушеного сырья свойственные виду сырья.

Рассчитано оптимальное соотношение рецептурных компонентов в составе сухих композитных смесей для заварных сортов хлеба методом планирования эксперимента, используя двухфакторный центральный рототабельный композиционный план, на основании которого было выявлено взаимное влияние используемых основных рецептурных компонентов. Основным уровнем и интервалами варьирования управляемых факторов (содержание муки пшеничной 1-го сорта X_1 , содержание сухих дрожжей X_2 , содержание соли поваренной пищевой X_3) определяли с учетом имеющихся в литературных источниках данных по введению в рецептуру заварных сортов

Таблица 1
Показатели качества образцов плодоовощных порошков

Наименование показателя	Морковь сушеная	Свекла сушеная	Топинамбур сушеный	Яблоки сушеные
Цвет	оранжевый	бордовый разных оттенков	кремовый	желто-коричневый разных оттенков
Массовая доля влаги, %	10,4±0,5	3,7±0,5	5,6±0,5	8,4±0,5
Массовая доля золы, % в пересчете на сухое вещество	6,1±0,5	4,9±0,5	4,6±0,5	1,6±0,5
Массовая доля клетчатки, %	10,4±0,5	14,2±0,5	8,5±0,5	16,8±0,5
Массовая доля белка, %	5,8±0,2	6,5±0,2	5,8±0,2	4,4±0,2
Массовая доля редуцирующих сахаров, %	8,0±0,5	4,2±0,5	5,5±0,5	5,0±0,5
Активная кислотность, ед.	5,1±0,2	5,8±0,2	5,9±0,2	2,3±0,2

хлеба отдельных видов сырья и условий проведения технологического процесса. При статистической обработке экспериментальных данных получены уравнения регрессии стандартизованных переменных, адекватно описывающих зависимость исследуемых показателей качества от выбранных факторов для получения готовой продукции со стабильно высокими потребительскими свойствами (формула устойчивости Y1, пористость Y2, бальная оценка Y3):

$$Y1 = -0,52 + 0,97 \cdot X2 + 0,01 - X1 - 0,27 - X22 - 0,01 \cdot X2 \cdot X1 \quad (1)$$

$$Y2 = -64,67 + 128,83 - X2 + 0,91 - X1 - 35,0 - X22 - 0,43 - X2 - X1 \quad (2)$$

$$Y3 = 6,33 + 66,83 - X2 + 0,42 - X1 - 19,00 - X22 - 0,23 - X2 - X1 \quad (3)$$

В дальнейшем осуществляли выбор дополнительных ингредиентов и вносили их в рецептурный состав взамен ржаной сеяной муки в количестве не более 20,0 %, так как именно такое количество муки из общей ее массы используется при приготовлении традиционных полуфабрикатов. В качестве сырьевых компонентов использовали экструзионную муку (X4), солод ржаной ферментированный (X5) и сухую молочную сыворотку (X6).

При помощи симплексного решетчатого планирования по выходным параметрам построены диаграммы «состав-свойство» (Рисунок 1), с помощью которых установлен наиболее рациональный рецептурный состав с наилучшими критериями

оценки по формула устойчивости (Y1), пористости (Y2), бальной оценки (Y3).

Составлена система уравнений, позволяющая установить рациональные соотношения влияющих факторов (X4, X5, X6) при максимальных критериях оценки (Y1, Y2, Y3).

$$Y1 = 0,3 \cdot X4 + 0,28 \cdot X5 + 0,34 \cdot X6 + 0,6 \cdot X4 \cdot X5 + 0,96 \cdot X4 \cdot X6 + 0,84 \cdot X5 \cdot X6 - 4,1 \cdot X4 \cdot X5 \cdot X6, \quad (4)$$

$$Y2 = 67,5 \cdot X4 + 57,0 \cdot X5 + 53,5 \cdot X6 - 33,0 \cdot X4 \cdot X5 + 24,0 \cdot X4 \cdot X6 + 9,0 \cdot X5 \cdot X6 + 247,5 \cdot X4 \cdot X5 \cdot X6,$$

$$Y3 = 51,0 \cdot X4 + 48,0 \cdot X5 + 53,0 \cdot X6 + 34,0 \cdot X4 \cdot X5 - 4,0 \cdot X4 \cdot X6 + 10,0 \cdot X5 \cdot X6 - 57,0 \cdot X4 \cdot X5 \cdot X6,$$

Рецептуры, рассчитанные с использованием представленной системы уравнений (4) целесообразно применять в дальнейшем при разработке сухих композитных смесей для заварных сортов хлеба.

Изучено, влияние предложенных плодоовощных порошков в дозировке от 1,0 до 5,0 % от массы сухой композитной смеси на ее свойства, в частности, динамику роста водорастворимых веществ. Установлено, что использование плодоовощных порошков в количестве от 3,2 до 5,0 % приводит к увеличению водорастворимых веществ на 4,0–8,0 % в зависимости от вида плодоовощ-

Таблица 2
Рецептуры сухих композитных смесей для заварных сортов хлеба

Наименование сырья	1	2	3	4 «Огонек»	5 «Спас»
		«Рыжик»	«Топик»		
Мука пшеничная 1-го сорт	38,8	35,0	35,0	35,0	35,0
Мука ржаная сеяная	38,8	-	-	-	-
Мука ржаная обдирная	-	44,2	44,2	44,2	44,2
Соль поваренная пищевая йодированная	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Дрожжи сухие	1,5	1,8	1,8	1,8	1,8
Мука ржаная экструзионная	5,8	4,0	4,0	4,0	4,0
Солод ржаной ферментированный	7,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Сыворотка сухая молочная кислая	6,6	4,0	4,0	4,0	4,0
Кислота лимонная пищевая	-	0,5	0,5	0,5	0,5
Морковь столовая сушеная	-	3,0	-	-	-
Клубни топинамбура сушеные	-	-	3,0	-	-
Свекла столовая сушеная	-	-	-	3,0	-
Яблоки сушеные	-	-	-	-	3,0

ного порошка. Это будет закономерно ухудшать реологические свойства теста с использованием сухих композитных смесей. Отмечено наличие специфического привкуса плодоовощного порошка в заварных сортах хлеба, приготовленных на основе сухих композитных смесей, в диапазоне дозировки от 3,2 до 5,0 %. Поэтому рациональным количеством плодоовощных порошков является не более 3,0 %.

Предложены рецептуры сухих композитных смесей для заварных сортов хлеба улучшенной пищевой ценности (Таблица 2).

По представленным в Таблице 2 рецептурам получены заварные сорта хлеба ускоренным способом и проведена их оценка по показателям качества. Результаты исследований представлены в Таблице 3.

Таблица 3
Результаты исследований образцов заварных сортов хлеба на основе сухих композитных смесей

Наименование показателя	Значение показателя для образцов				
	1	2 «Рыжик»	3 «Топик»	4 «Огонек»	5 «Спас»
Внешний вид	для формового изделия – в зависимости от вида формы, для подового изделия – круглая, состояние корки – без трещин				
Состояние мякиша	равномерно пропеченный без следов непромеса с равномерной пористостью без пустот и уплотнений				

Таблица 3

Наименование показателя	Значение показателя для образцов				
	1	2	3	4	5
		«Рыжик»	«Топик»	«Огонек»	«Спас»
Цвет	светло-коричневый	коричневый	коричневый	коричневый	коричневый
Вкус	Свойственный хлебобулочному изделию из смеси ржаной и пшеничной муки, без посторонних привкусов				
Запах	свойственный хлебобулочному изделию из смеси ржаной и пшеничной муки, без посторонних запахов				
Балльная органолептическая оценка, баллы	68	76	78	72	72
Пористость, %	62	64	66	68	68
Формоустойчивость, ед.	0,35	0,54	0,52	0,50	0,50
Кислотность, град.	6,6±0,2	6,8±0,2	6,8±0,2	6,8±0,2	6,8±0,2

Обсуждение результатов

Вид и рациональное соотношение отдельных сырьевых компонентов в составе сухих композитных смесей для производства заварных сортов хлеба улучшенной пищевой ценности определяют как свойства и качественные характеристики самой смеси, так и готового продукта, полученного на ее основе.

Основными сырьевыми компонентами разработанных сухих композитных смесей являются мука ржаная сеяная, мука ржаная обдирная и мука пшеничная первого сорта. Качественный и количественный выбор этих сырьевых компонентов был обусловлен назначением разрабатываемого ассортимента и технологией его получения. Стоит отметить, что в разработках других авторов и в сухих композитных смесях, выпускаемых действующими производителями, в составе содержится преимущественно мука ржаная обдирная, мука пшеничная первого сорта, а также другие виды и сорта муки зерновых, зернобобовых и масличных культур. При этом требуемые хлебопекарные свойства сухих композитных смесей корректируются путем введения в рецептурный состав клейковины пшеничной сухой, которая имеет ряд ограничений при потреблении отдельными категориями населения (Назаренко, 2012; Белокурова & Дерканосова, 2013).

Химический состав плодовоовощных порошков позволяет улучшить пищевую ценность, как сухих композитных смесей, так и заварных сортов хлеба на их основе, в частности по содержанию минеральных веществ и клетчатки. В составе сухих

композитных смесей плодовоовощные порошки выступают и в качестве технологической добавки, в том время как в других разработках они использовались только в качестве функционального сырьевого компонента и только для изделий на основе пшеничной муки (Росляков и др., 2012). Содержащиеся редуцирующие сахара в плодовоовощных порошках обеспечивают используемый биологический разрыхлитель дополнительными источниками питания. Наличие клетчатки, пищевых волокон в плодовоовощных порошках корректируют реологические свойства теста на основе сухих композитных смесей. Низкая активная кислотность яблочного порошка способствует интенсификации технологического процесса производства заварных сортов хлеба на основе сухих композитных смесей, поддержанию оптимальной кислотности готовых продуктов и формированию мягкого кисловатого привкуса.

Выводы

Осуществлен выбор и обоснование основных, дополнительных и нетрадиционных сырьевых компонентов сухих композитных смесей для заварных сортов хлеба, в том числе и улучшенной пищевой ценности. Эти рецептурные компоненты могут быть включены в состав сухих композитных смесей и обеспечить полноценную реализацию технологического процесса производства пищевых продуктов на их основе. Исследованы показатели качества, технологические свойства и особенности химического состава сырьевых компонентов. Осуществлен расчет рационального рецептурного состава сухих композитных смесей без добавления и с добавле-

нием плодовоовощных порошков, используя методику симплексного решетчатого планирования.

Литература

- Алехина, Н. Н., Пономарева, Е. И., Жаркова, И. М., & Гребенщиков, А. В. (2021). Оценка функциональных свойств и показателей безопасности зернового хлеба с амарантовой мукой. *Техника и технология пищевых производств*, 2, 323-332. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-323-332>
- Белокурова, Е. В., & Дерканосова, А. А. (2013). Пищевые сухие композитные смеси в производстве мучных кулинарных и хлебобулочных изделий функционального назначения. *Вестник ВГУИТ*, 2, 119-124.
- Березина, Н. А., Артемов, А. В., & Никитин, И. А. (2020). Оптимизация состава поликомпонентных мучных смесей для хлебобулочных изделий функционального назначения. *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*, 4, 48-53. <https://doi.org/10.33979/2219-8466-2020-63-4-48-53>
- Беркетова, Л. В., & Перов, В. И. (2018). Применение сенсорного анализа в работе предприятия по производству продуктов питания. *Вестник ВГУИТ*, 1, 146-150. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-1-146-150/>
- Герасимова, Э. О., Лабутина, Н. В., Маклюков, В. И., & Рогозкин, Е. Н. (2020). Построение теплофизической модели процесса выпечки ржано-пшеничного формового хлеба. *Хлебопродукты*, 5, 46-49. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2020-29-5-46-49>
- Грязина, Ф. И. (2020). Необычный пшеничный хлеб с применением свеклы и шпината. *Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства*, 22, 95-99.
- Диваков, А. В., Назаренко, Е. А., & Кондратенко, Р. Г. (2007). Разработка сухих композитных смесей и на их основе технологии производства заварных сортов хлеба. *Вестник Могилевского государственного университета продовольствия*, 2, 71-77.
- Заикина, М. А., Ковалева, А. Е., Пьяникова, Э. А., Овчинникова, Е. В., Кобченко, С. Н., & Ткачева, Е. Д. (2021). Исследование влияния яблочных выжимок и рисовой муки на качественные показатели хлеба пшеничного. *Вестник ВГУИТ*, 83(1), 233-239. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-233-239>
- Ковалева, А. Е., Пьяникова, Э. А., & Ткачева, Е. Д. (2020). Совершенствование рецептуры и технологии хлеба пшеничного с использованием яблочных выжимок. *Вестник ВГУИТ*, 82(2), 61-66. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-2-61-66>
- Косован, А. П., & Шапошников, И. И. (2016). Состояние и перспективы развития инновационного потенциала хлебопекарной промышленности. *Хлебопечение России*, 6, 14-18.
- Кузнецова, Л. И., Бурькина, М. С., Парахина, О. И., Нутчина, М. А., & Лаврентьева, Н. С. (2021). Анализ качества муки ржаной обдирной, выработанной мукомольными предприятиями России в 2020 году. *Хлебопечение России*, 2, 36-43. <https://doi.org/10.37443/2073-3569-2021-1-2-36-43>
- Мустафаева, К. К., & Загиров, М. С. (2021). Технологии приготовления функционального хлеба с биологически активными добавками из плодов облепихи. *Теория и практика современной науки*, 5, 165-168.
- Назаренко, Е. А. (2012). Сухие смеси для производства заварных сортов хлеба. *Хлебопек*, 2, 34-36.
- Нилова, Л. П., Малютенкова, С. М., Кайгородцева, М. С., & Евграфов, А. А. (2018). Формирование качества и антиоксидантных свойств хлебобулочных изделий с порошком морозки. *Вестник ВГУИТ*, 2, 138-143. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-2-138-143/>
- Прокопец, Ж. Г., Бойцова, Т. М., & Журавлева, С. В. (2014). Использование свеклы сорта бордо в технологии функциональных продуктов. *Инновации в науке*, 1, 76-81.
- Росляков, Ю. Ф., Вершинина, О. Л., Гончар, В. В. (2012). Использование продуктов переработки клубней топинамбура в хлебопечении. *Хлебопек*, 4, 30-33.
- Сарычева, О. В., Шлыков, С. Н., & Омаров, Р. С. (2019). Научные принципы создания пищевых продуктов для персонализированного питания в соответствии с концепцией развития перспективного рынка «FoodNet». *Пищевая индустрия*, 1, 36-37.
- Стабровская, О. И., Романов, А. С., & Короткова, О. Г. (2009). Многокомпонентные смеси для производства хлебобулочных изделий. *Техника и технология пищевых производств*, 2, 30-33.
- Танирхан, Д., Мусаева, С. Д., & Исмагуллаев, С. Л. (2020). Разработка системы управления безопасностью на основе принципов ХАССП при производстве хлеба из композитной муки. *Интернаука*, 15(1), 91-94.
- Тимакова, Р. Т. (2020). Оценка качества пшеничного хлеба, обогащенного натуральным яблочным сырьем. *Научный журнал НИУ ИТМО*.

- Процессы и аппараты пищевых производств*, 2, 22-28. <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2020-10-2-21-28>
- Токтарканова, А. Н., & Мусаева, С. Д. (2020) Использование композитной муки в производстве хлеба. *Интернаука*, 16(2), 35-36.
- Хмелева, Е. В. (2017). Использование заварки в технологии хлеба из целого зерна пшеницы. *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*, 4, 32-36.
- Шмалько, Н. А. (2021). Современные технологии ржано-пшеничного хлеба с использованием амарантовой муки. Известия высших учебных заведений. *Пищевая технология*, 2-3, 6-9. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2021.2-3.1>
- Bajka, B. H., Pinto, A. M., Ahn-Jarvis, J., Ryden, P., Perez-Moral, N., Vander Schoot, A., Stocchi, C., Bland, C., Berry, C. E., & Ellis, P. R. (2021)/ The impact of replacing wheat flour with cellular legume powder on starch bioaccessibility, glycaemic response and bread roll quality: A double-blind randomised controlled trial in healthy participants. *Food Hydrocolloids*, 144, 106565. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106565>
- Burnete, A. G., Catana, L., Catana, M., Lazar, M. A., Teodorescu, R. L., Asanica, A. C., & Belc, N. (2020). Use of vegetable functional ingredients to achieve hypoglycemic bread with antioxidant potential, for diabetics. *Scientific papers-series B-Horticulture*, 64(2), 367-374.
- Kiharason, J. W., Isutsa, D. K., & Ngoda, P. N. (2017). Nutritive value of bakery products from wheat and pumpkin composite flour. *Global Journal of Bio-science and Biotechnology*, 6(1), 96-102.
- Melini, V., Melini, F., Luziatelli, F., & Ruzzi, M. (2020). Functional ingredients from agri-food waste: effect of inclusion thereof on phenolic compound content and bioaccessibility in bakery products. *Antioxidants*, 9, 1216. <https://doi.org/10.3390/antiox9121216>
- Parenti, O., Guerrini, L., & Zanoni, B. (2020). Techniques and technologies for the breadmaking process with unrefined wheat flours. *Trends in Food Science & Technology*, 99, 152-166. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.034>
- Sardarodiyani, M., & Sani, A. M. (2016). Natural antioxidants: sources, extraction and application in foods systems. *Nutrition and Food Science*, 46(3), 363-373. <https://doi.org/10.1108/NFS-01-2016-0005>
- Shevtsov, A. A., Drannikov, A. V., Derkanosova, A. A., Muravev, A.S., & Kvasov, A. V. (2017). Experimental and analytical study of the beet pulp drying process by overheated steam in active hydrodynamic conditions. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(1), 5754-5760. <https://doi.org/10.3923/jeasci.2017.5754.5760>
- Timakova, R. T., Akulich, A. V., & Samuylenko, T. D. (2021). The role of biotechnology in ensuring the preservation of dry composite mixtures. *E3S Web of Conferences*, 254, 10018. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125410018>

Development of the Component Composition of Dry Composite Mixtures for National Types of Bread of Improved Nutritional Value

Alexander V. Akulich

*Belarusian State University of Food and Chemical Technologies
3, Schmidt's Ave., Mogilev, 212027, Belarus
E-mail: akulichav57@mail.ru*

Tatyana D. Samuylenko

*Belarusian State University of Food and Chemical Technologies
3, Schmidt's Ave., Mogilev, 212027, Belarus
E-mail: tatasam@tut.by*

Roza T. Timakova

*Ural State University of Economics
62/45, str. March 8, Yekaterinburg, 620144, Russian Federation
E-mail: trt64@mail.ru*

To increase the nutritional value of custard varieties of rye flour bread, it is proposed to use non-traditional raw materials of vegetable origin as part of dry composite mixtures, which is an urgent direction for the production of functional bread and has scientific and practical significance in the existing conditions of import substitution in the Republic of Belarus and the Russian Federation. The purpose of the study is to make a reasonable choice of raw materials for dry composite mixtures used as the only basis for the production of national types of bread varieties in an accelerated one-step method and the subsequent development of recipes with an optimal ratio of ingredients in terms of the quality of the finished bread. The choice of raw materials was based on the peculiarities of their chemical composition in terms of protein, fiber, minerals, reducing sugars and a number of technological properties depending on the type of raw materials (autolytic activity, extractivity, acidity, lifting force). The composition of dry composite mixtures was developed using simplex optimization. The quality indicators of bread based on dry composite mixtures were studied according to an organoleptic 100-point assessment, porosity, shape stability. It has been established that in the composition of dry composite mixtures for the production of bread, it is advisable to use the following raw components: rye flour; wheat flour of the first grade; dried instant baking yeast; iodized food salt of the highest and first grade; extruded rye flour; fermented rye malt after 2-3 days of germination; sour milk whey; fruit and vegetable powders from beets, carrots, jerusalem artichoke and apples. In accordance with the demands of production and the consumer market, dry composite mixtures for bread of improved nutritional value with the addition of fruit and vegetable powders with the best criteria for evaluating the quality of finished products have been developed. The use of such dry composite mixtures makes it possible to improve the nutritional value of bread in terms of the content of dietary fibers, minerals, mobilize the technological process, stabilize consumer properties and quality indicators of bread produced using accelerated technology, reduce energy costs and costs associated with the storage of additional raw materials and their preparation.

Keywords: dry composite mixes, bread, dry fruit and vegetable powders, component composition; nutritional value

References

- Alekhina, N. N., Ponomareva, E. I., Zharkova, I. M., & Grebenshchikov, A. V. (2021). Otsenka funktsional'nykh svoystv i pokazatelei bezopasnosti zernovogo khleba s amarantovoi mukoi [Evaluation of functional properties and safety indicators of grain bread with amaranth flour]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv [Equipment and Technology of Food Production]*, 2, 323-332. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-2-323-332>
- Belokurova, E. V., & Derkanosova, A. A. (2013). Food dry composite mixtures in the production of flour culinary and bakery products for functional pur-

- poses. *Bulletin of VSUIT [Bulletin of the Voronezh state university of Engineering technologies]*, 2, 119-124.
- Berezina, N. A., Artemov, A. V., & Nikitin, I. A. (2020). Optimizatsiya sostava polikomponentnykh muchnykh smesei dlya khlebobulochnykh izdelii funktsional'nogo naznacheniya [Optimization of the composition of multicomponent flour mixtures for functional bakery products]. *Tekhnologiya i tovarovedenie innovatsionnykh pishchevykh produktov [Technology and Commodity Science of Innovative Food Products]*, 4, 48-53. <https://doi.org/10.33979/2219-8466-2020-63-4-48-53>
- Berketova, L. V., & Perov, V. I. (2018). Primenenie sensor'nogo analiza v rabote predpriyatiya po proizvodstvu produktov pitaniya [Application of sensory analysis in the work of a food production enterprise]. *Vestnik VGUIT [Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies]*, 1, 146-150. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-1-146-150/>
- Divakov, A. V., Nazarenko, E. A., & Kondratenko, R. G. (2007). Razrabotka sukhikh kompozitnykh smesei i na ikh osnove tekhnologii proizvodstva zavarnykh sortov khleba [Development of dry composite mixtures and technologies for the production of custard bread varieties based on them]. *Vestnik Mogilevskogo gosudarstvennogo universiteta proizvodol'stviya [Bulletin of the Mogilev State University of Food]*, 2, 71-77.
- Gerasimova, E. O., Labutina, N. V., Maklyukov, V. I., & Rogozkin, E. N. (2020). Postroenie teplofizicheskoi modeli protsessa vypechki rzhano-pshenichnogo formovogo khleb [Construction of a thermophysical model of the baking process of rye-wheat molded bread]. *Khleboprodukty [Bread Products]*, 5, 46-49. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2020-29-5-46-49>
- Gryazina, F. I. (2020). Neobychnyi pshenichnyi khleb s primeneniem svekly i shpinata [Unusual wheat bread with the use of beetroot and spinach]. *Aktual'nye voprosy sovershenstvovaniya tekhnologii proizvodstva i pererabotki produktsii sel'skogo khozyaistva [Topical Issues of Improving the Technology of Production and Processing of Agricultural Products]*, 22, 95-99.
- Khmeleva, E. V. (2017). Ispol'zovanie zavarki v tekhnologii khleba iz tselogo zerna pshenitsy [The use of welding in the technology of bread from whole wheat grain]. *Tekhnologiya i tovarovedenie innovatsionnykh pishchevykh produktov [Technology and Commodity Science of Innovative Food Products]*, 4, 32-36.
- Kosovan, A. P., & Shaposhnikov, I. I. (2016). Sostoyanie i perspektivy razvitiya innovatsionnogo potentsiala khlebopekarnoi promyshlennosti [The state and prospects for the development of the innovative potential of the bakery industry]. *Khlebopechenie Rossii [Bakery of Russia]*, 6, 14-18.
- Kovaleva, A. E., P'yanykova, E. A., & Tkacheva, E. D. (2020). Sovershenstvovanie retseptury i tekhnologii khleba pshenichnogo s ispol'zovaniem yablochnykh vyzhimok [Improving the recipe and technology of wheat bread using apple pomace]. *Vestnik VGUIT [Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies]*, 82(2), 61-66. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-2-61-66>
- Kuznetsova, L. I., Burykina, M. S., Parakhina, O. I., Nutchina, M. A., & Lavrent'eva, N. S. (2021). Analiz kachestva muki rzhanoi obdirnoi, vyrabotannoi mukomol'nymi predpriyatiyami Rossii v 2020 godu [Analysis of the quality of rye floured flour produced by flour milling enterprises of Russia in 2020]. *Khlebopechenie Rossii [Bakery of Russia]*, 2, 36-43. <https://doi.org/10.37443/2073-3569-2021-1-2-36-43>
- Mustafaeva, K. K., & Zagirov, M. S. (2021). Tekhnologii prigotovleniya funktsional'nogo khleba s biologicheski aktivnymi dobavkami iz plodov oblepikhi [Technologies for preparing functional bread with biologically active additives from sea buckthorn fruits]. *Teoriya i praktika sovremennoi nauki [Theory and Practice of Modern Science]*, 5, 165-168.
- Nazarenko, E. A. (2012). Dry mixes for the production of custard bread varieties. *Baker*, 2, 34-36.
- Nilova, L. P., Malyutenkova, S. M., Kaigorodtseva, M. S., & Evgrafov, A. A. (2018). Formirovanie kachestva i antioksidantnykh svoystv khlebobulochnykh izdelii s poroshkom moroshki [Formation of the quality and antioxidant properties of bakery products with cloudberry powder]. *Vestnik VGUIT [Bulletin of the Voronezh state university of Engineering technologies]*, 2, 138-143. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-2-138-143/>
- Prokopets, Zh. G., Boitsova, T. M., & Zhuravleva, S. V. (2014). Ispol'zovanie svekly sorta bordo v tekhnologii funktsional'nykh produktov [The use of Bordeaux beet in the technology of functional products]. *Innovatsii v nauke [Innovations in Science]*, 1, 76-81.
- Roslyakov, Yu. F., Vershinina, O. L., Gonchar, V. V. (2012). The use of jerusalem artichoke tubers processing products in baking. *Baker*, 4, 30-33.
- Sarycheva, O. V., Shlykov, S. N., & Omarov, R. S. (2019). Nauchnye printsipy sozdaniya pishchevykh produktov dlya personalizirovannogo pitaniya v sootvetstvii s kontseptsiei razvitiya perspektivnogo rynka "FoodNet" [Scientific principles of creating food products for personalized nutrition in accordance with the concept of developing a promising market "FoodNet"]. *Pishchevaya industriya [The Food Industry]*, 1, 36-37.

- Shmal'ko, N. A. (2021). Sovremennye tekhnologii rzhano-pshenichnogo khleba s ispol'zovaniem amarantovoi muki [Modern technologies of rye-wheat bread using amaranth flour]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Pishchevaya tekhnologiya [News of Higher Educational Institutions. Food Technology]*, 2-3, 6-9. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2021.2-3.1>
- Stabrovskaya, O. I., Romanov, A. S., & Korotkova, O. G. (2009). Mnogokomponentnye smesi dlya proizvodstva khlebobulochnykh izdelii [Multicomponent mixtures for the production of bakery products]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv [Equipment and Technology of Food Production]*, 2, 30-33.
- Tanirkhan, D., Musaeva, S. D., & Ismatullaev, S. L. (2020). Razrabotka sistemy upravleniya bezopasnost'yu na osnove printsipov KhASSP pri proizvodstve khleba iz kompozitnoi muki [Development of a safety management system based on the principles of HACCP in the production of bread from composite flour]. *Internauka*, 15(1), 91-94.
- Timakova, R. T. (2020). Otsenka kachestva pshenichnogo khleba, obogashchennogo natural'nym yablochnym syr'em [Evaluation of the quality of wheat bread enriched with natural apple raw materials]. *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv [Scientific Journal of the National Research University ITMO. Processes and Devices of Food Production]*, 2, 22-28. <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2020-10-2-21-28>
- Toktarkanova, A. N., & Musaeva, S. D. (2020). Ispol'zovanie kompozitnoi muki v proizvodstve khleba [The use of composite flour in bread production]. *Internauka*, 16(2), 35-36.
- Zaikina, M. A., Kovaleva, A. E., P'yanikova, E. A., Ovchinnikova, E. V., Kobchenko, S. N., & Tkacheva, E. D. (2021). Issledovanie vliyaniya yablochnykh vyzhimok i risovoi muki na kachestvennye pokazateli khleba pshenichnogo [Study of the influence of apple pomace and rice flour on the quality indicators of wheat bread]. *Vestnik VGUIT [Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies]*, 83(1), 233-239. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-233-239>
- Bajka, B. H., Pinto, A. M., Ahn-Jarvis, J., Ryden, P., Perez-Moral, N., Vander Schoot, A., Stocchi, C., Bland, C., Berry, C. E., & Ellis, P. R. (2021). The impact of replacing wheat flour with cellular legume powder on starch bioaccessibility, glycaemic response and bread roll quality: A double-blind randomised controlled trial in healthy participants. *Food Hydrocolloids*, 144, 106565. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106565>
- Burnete, A. G., Catana, L., Catana, M., Lazar, M. A., Teodorescu, R. L., Asanica, A. C., & Belc, N. (2020). Use of vegetable functional ingredients to achieve hypoglycemic bread with antioxidant potential, for diabetics. *Scientific papers-series B-Horticulture*, 64(2), 367-374.
- Kiharason, J. W., Isutsa, D. K., & Ngoda, P. N. (2017). Nutritive value of bakery products from wheat and pumpkin composite flour. *Global Journal of Bio-science and Biotechnology*, 6(1), 96-102.
- Melini, V., Melini, F., Luziatelli, F., & Ruzzi, M. (2020). Functional ingredients from agri-food waste: effect of inclusion thereof on phenolic compound content and bioaccessibility in bakery products. *Antioxidants*, 9, 1216. <https://doi.org/10.3390/antiox9121216>
- Parenti, O., Guerrini, L., & Zanoni, B. (2020). Techniques and technologies for the breadmaking process with unrefined wheat flours. *Trends in Food Science & Technology*, 99, 152-166. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.034>
- Sardarodiyani, M., & Sani, A. M. (2016). Natural antioxidants: sources, extraction and application in foods systems. *Nutrition and Food Science*, 46(3), 363-373. <https://doi.org/10.1108/NFS-01-2016-0005>
- Shevtsov, A. A., Drannikov, A. V., Derkanosova, A. A., Muravev, A. S., & Kvasov, A. V. (2017). Experimental and analytical study of the beet pulp drying process by overheated steam in active hydrodynamic conditions. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 12(1), 5754-5760. <https://doi.org/10.3923/jeasci.2017.5754.5760>
- Timakova, R. T., Akulich, A. V., & Samuylenko, T. D. (2021). The role of biotechnology in ensuring the preservation of dry composite mixtures. *E3S Web of Conferences*, 254, 10018. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125410018>

Прогнозирование развития отраслевой экономической системы предприятий хлебобулочной промышленности на основе методов кластеризации фазовых портретов

Логунова Нина Юрьевна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет
пищевых производств»

Адрес: 125080, город Москва, Волоколамское шоссе, д. 11

E-mail: logunina@yandex.ru

Задача прогнозирования развития предприятий является актуальной, в том числе для хлебобулочной промышленности. Большой объем данных требует специальных методов обработки. Агрегация данных приводит к недопустимым погрешностям, поэтому необходимо разработать методику анализа больших данных, не требующую их предварительной обработки. В статье предлагается метод, основанный на построении траектории развития предприятий хлебобулочной промышленности в виде фазового портрета, включающего не только значения показателей, но и значения их первых и вторых производных, что позволяет формировать кластеры наиболее близких траекторий. Сформированные кластеры дают дополнительные возможности управления предприятиями и хлебобулочной отраслью в целом с целью максимизации эффективности: прогнозирования развития предприятий, уточнения неявных критериев развития, учета плохо формализуемых условий деятельности. Рассмотрена задача построения траекторий развития подсистем отраслевой экономической системы, формирующих макросистему пищевой промышленности. Введена метрика, в фазовом пространстве, учитывающая свойства траекторий развития. Для этого использована обобщенная метрика, учитывающая корреляционные матрицы показателей подсистемы как временных рядов. Формирование кластеров фазовых траекторий путем экстраполяции средних фазовых траекторий позволяет определить ожидаемые значения параметров при различных горизонтах планирования, выделить точки слияния фазовых траекторий и, наоборот, точки бифуркаций. Таким образом, предлагается методологический подход для анализа поведения и выбора стратегии развития отраслевой экономической системы предприятий хлебобулочной промышленности на основе методов кластеризации фазовых портретов, что позволяет использовать данные о предприятии без дополнительной обработки и обеспечить устойчивость по отношению к генерации псевдоцелей.

Ключевые слова: прогнозирование, макросистемы, управленческий учет, динамика развития подсистем, метрика Евклида – Махаланобиса, максимизация эффективности, различные горизонты планирования, фазовые портреты, кластер.

Введение

Задачи обработки информации в макросистемах, состоящих из большого количества подсистем, весьма актуальна как с точки зрения прогноза состояния каждой из подсистем, так и с точки зрения обеспечения экономической безопасности. Каждая подсистема в этом случае действует с учетом своих собственных критериев, но информация о работе подсистемы доступна, более того, существует настолько большое число наблюдаемых параметров, что информацию о каждой подсистеме можно рассматривать, как задачу обработки больших данных.

Для эффективного функционирования современного хлебопекарного предприятия необходимо проводить:

- постоянный мониторинг рынка хлебобулочных изделий;
- работы, направленные на расширение ассортимента и внедрение его в производство;
- постоянный контроль качества выпускаемых изделий.

Кроме того, продукция хлебозаводов должна реализовываться через торговые сети и различные магазины, а сами хлебозаводы должны обеспечи-

вать снабжение хлебом и хлебобулочными изделиями довольно обширные территории.

При создании информационных систем неизбежно возникают проблемы, связанные с формальным - математическим и алгоритмическим описанием решаемых задач. От степени формализации во многом зависят эффективность работы всей системы, а также уровень автоматизации, определяемый степенью участия человека при принятии решения на основе получаемой информации. Данные факты, распределенный характер размещения предприятий хлебопекарной промышленности и усложняющийся характер функционирования делают построение комплексного методического аппарата для создания распределенных информационных систем актуальной проблемой (Тишковский, 2013).

Задачи управления предприятиями хлебобулочной промышленности, где ассортимент хлебобулочной продукции состоит из большого числа наименований, требуют проведения анализа больших данных (Кузьминов, 2018). Это позволяет управлять логистикой отрасли, оптимизировать технологические режимы реализовать алгоритмы поддержки принятия решений (Никитина и др., 2018) Методы анализа больших данных включают методы агрегирования (кластерный и индексный анализ) и математической статистики (методы регрессионного и факторного анализа, анализа отклонений)(Качалов и др., 2017).

Экономические процессы, как правило, представляют собой стохастические нестационарные временные ряды. Поэтому оптимальное прогнозирование невозможно без использования экономико-математических моделей, на основании которых можно не только предсказывать поведение временных рядов, но и устанавливать доверительные границы получаемых прогнозов.

На основании исследования временных рядов объема выпуска и цен на ряд видов хлебобулочных изделий, а также цены на муку, как основного вида сырья, в работе показано, что выделенные тренды не устраняют присутствие циклической составляющей, которая отражает поведение временных рядов на коротких интервалах времени и утверждается, что эффективное управление хлебопекарными предприятиями реально лишь с использованием краткосрочных прогнозов (Новиков, 2001)

Ряд задач, прежде всего задачи определения финансовой устойчивости, прогнозирования хо-

зяйственной деятельности и другие задачи прогнозирования развития отраслевой экономической системы предприятий хлебобулочной промышленности на основе методов кластеризации фазовых портретов не могут быть надежно решены путем вычисления индексов или векторов индексов, так как принципы агрегирования и весовые коэффициенты при формировании индексов выбираются путем экспертной оценки, а значит, при формировании индекса учитывается субъективное мнение эксперта (Литвак, 2004). Кроме того, индексы дают информацию о статике, тогда как для прогноза необходимо учитывать динамику развития предприятий отрасли. Необходимо обрабатывать не только текущее состояние предприятий отрасли, но и изменения, а, в ряде случаев, и скорости изменения параметров данных предприятия (Цирлин и др., 2002). Отсутствие универсального метода прогнозирования, использование интуитивных методов, экспертных оценок характерно для ситуации, когда большое количество данных не может быть полноценно обработано. Развитие систем искусственного интеллекта и компьютерной техники обеспечивает возможность обработки потоков данных высокой интенсивности, увеличение эмпирических данных способствует повышению точности и (или) надежности прогноза (Басовский, 2010). Статистические методы прогнозирования, как правило, предполагают построение линии регрессии как зависимости математического ожидания параметров предприятий отрасли во времени и ее экстраполяцию для определения наиболее вероятного значения вектора параметров состояния предприятия $x(T)$ в точке прогноза T . В этом случае требуется прежде всего доказать нормальность закона распределения $x(t)$ в каждой точке t или доказать корректность вычисления линии регрессии при ином типе распределения (Старокожева & Ларькина, 2008; Касьяненко & Полоско, 2015). Применение регрессионных моделей и факторного анализа позволяет при сравнительно небольших вычислительных мощностях оценить финансовое состояние предприятий отрасли, однако в каждом конкретном случае выделение факторных признаков и выбор вида регрессионной линии проводятся также методом экспертных оценок (например, по обучающей выборке), что вносит элемент субъективности и снижает эффективность работы алгоритма.

Само наличие большого выбора методов расчета и показателей финансовой устойчивости предприятий означает, что результат прогноза существенно зависит от особенностей рынков отраслевой экономической системы предприятий хлебобулочной

промышленности, на которых функционируют предприятия, неучтенных параметров предприятий, в частности инноваций и других параметров и условий.

Задача – найти методологический подход, позволяющий для любого предприятия или группы предприятий (отрасли) сформировать прогноз финансового состояния, обеспечить возможность сравнения и оценки путей развития различных предприятий отрасли, что даст дополнительную информацию для регулирования рынка инноваций отраслевой экономической системы предприятий хлебобулочной промышленности.

Несмотря на то, что в последнее время в работах ученых и в периодической печати проблемам риска в деятельности предприятий уделяется достаточно большое внимание, практически отсутствует обобщенная методика анализа и интегральной оценки социально-экономического и технологического рисков с учетом специфики предприятий хлебобулочной промышленности, не получены количественные оценки влияния факторов производства на риск невостребованности произведенной продукции и конечные экономические результаты хозяйственной деятельности хлебопекарного предприятия (Спивак, 1999).

Однако в настоящее время остаётся нерешённым вопрос совместного, эффективного использования инвестиционной и инновационной деятельности предприятий, на основе маркетинговых исследований, которые являются важнейшими источниками увеличения прибыли. Необходимо разработать модель совместного осуществления инновационно-инвестиционных процессов на предприятиях хлебобулочной промышленности, построенную с учётом маркетинговых исследований, не только по критериям социально-экономической, но и *технологической* целесообразности (Буранова, 2001).

Решение стратегических вопросов развития компаний является стержнем всей системы управления отраслью, поскольку стратегии компаний – это комплексный план управления, который, с одной стороны, позволяет укрепить положение отдельной компании на рынке и обеспечить привлечение и удовлетворение потребностей потребителей, а с другой – обеспечить успешную конкуренцию компаний в достижении глобальных целей отрасли в целом. Процесс выработки стратегии основывается на тщательном изучении всех возможных направлений развития деятельности и заключается в выборе общего направления освоения рынков

инноваций отраслевой экономической системы предприятий хлебобулочной промышленности, методов обслуживания потребностей, конкуренции, привлечения ресурсов и формирования моделей бизнеса (Филатов, 2017).

С понятием стратегии тесно связано понятие модели бизнеса (бизнес-модели). Этим термином обозначается способ получения прибыли от деятельности предприятий. Формально модель бизнеса предприятий связана с экономической составляющей стратегии, с соотношением доход–издержки–прибыль, с фактическими и планируемыми доходами от сбыта товаров предприятий, со стратегией конкуренции, со структурой издержек, уровнем доходов, потоками прибыли и окупаемостью инвестиций.

На сегодняшний момент совершенствование бухгалтерского учета на основе моделирования» учетных процедур – научное направление, призванное совершенствовать информационное обеспечение деятельности предприятия в условиях сильнейшей конкуренции в хлебопекарной промышленности, требующей моментальной реакции на изменяющиеся ситуации рынка (Голодухина, 2009).

Ряд принципиальных изменений в экономике и хозяйственном механизме, в т.ч. в учете и калькулировании, которые произошли в течение последних лет, не обобщен должным образом, не обобщался и передовой практический опыт. Исследование калькуляционного дела нуждается в дальнейшей разработке, нет единой формы отчетной калькуляции, единообразия в применяемых калькуляционных статьях затрат. Недостаточно используются средства автоматизированной обработки учетной информации.

В настоящее время практически не проработанными остаются вопросы методики и организации управленческого учета в хлебопекарном производстве. До настоящего времени недостаточно полно раскрыто влияние специфики деятельности хлебопекарного производства на организацию учета издержек, нечетко определена взаимосвязь категорий затрат и расходов с позиции теории бухгалтерского учета, часто термин «затраты» отождествляется с понятием «расходы» (Баркова, 2007).

Появилась необходимость в проведении всестороннего анализа сложившихся методических подходов к расчету издержек производства, в разработке эффективной организационно-ме-

тодической базы их снижения и в исследовании влияния издержек производства на конкурентоспособность хлебопекарных предприятий. Назрела потребность в разработке первоочередных организационных мероприятий, направленных на снижение издержек производства предприятий хлебобулочной промышленности, таких как: внедрение ресурсосберегающих технологий; автоматизация системы расчета и прогнозирования издержек производства; формирование маркетинговой политики предприятия в части закупки зерна и реализации готовой продукции (Степаненков, 2000).

Разработка конкурентной стратегии хозяйственной деятельности предприятий хлебобулочной промышленности предполагает наличие объективной информации о прошлом, настоящем и будущем состояниях компании, а также об оптимальном для нее пути перехода из настоящего в будущее. При этом:

- прошлое предприятий должно рассматриваться только в контексте влияния на настоящее. Особое значение имеет обладание накопленным опытом, который может быть использован в деятельности при изменяющихся внешних условиях в дальнейшем;
- текущее состояние предприятий является отправной точкой стратегического развития. Это состояние имеет двойственную природу. С одной стороны, текущее состояние обусловлено самим состоянием компании в рассматриваемый момент времени, с другой стороны, – оно обусловлено состоянием отрасли и рынков. При маркетинговом анализе текущего состояния должна быть проведена ревизия всех ресурсов, которыми обладает компания, а также анализ состояния и прогноз развития отрасли и рынков. Другими словами, при рассмотрении текущего состояния предприятий должны быть проанализированы и выявлены как сильные и слабые стороны предприятий, так и возможности развития отрасли и рыночной среды, в которых они осуществляют хозяйственную деятельность.
- прогноз состояния предприятий в будущем должен базироваться на детальном анализе объективных возможностей предприятий развиваться в условиях развития рыночной среды, с учетом, разумеется, анализа развития отрасли и возможных изменений внешней среды.

Несмотря на значительный объем работ, посвященных процессному управлению предприятием, целый ряд теоретических и практических

вопросов, связанных с данной проблемой, остаются дискуссионными и требуют дополнительного изучения. Так, значительная часть существующих исследований посвящена типовым подходам к описанию моделей бизнес-процессов. Неполно рассмотрены этапы разработки конкурентной стратегии, оценки возможностей ее реализации, ожидаемых результатов и последствий. Для практического решения указанных проблем необходимо системное исследование процесса разработки конкурентной стратегии предприятий хлебобулочной промышленности и методического, организационного и информационного обеспечения (Хайров, 2015).

Очевидно, что для обеспечения успешного функционирования стратегии как отдельного предприятия, так и отрасли в целом необходима поддерживающая учетно-информационная система, которой и является стратегический управленческий учет инновационной деятельности.

Составной частью стратегического управленческого учета является маркетинговый анализ, исследующий перспективную деятельность организации. Использование приемов маркетингового анализа необходимо при обосновании любого управленческого решения, предполагаемого к принятию руководством предприятий.

В связи с развитием инновационной деятельности в экономике России и усложнением деловых связей, приближением к западным стандартам управления, постоянно растет важность активных усилий по оптимизации деятельности бизнеса. Все более актуальной становится необходимость прогнозирования и анализа последствий управленческих решений с учетом всех факторов (Ландсбаун, 2006). Для обоснования и оценки таких решений необходимо применять инструментарий маркетингового анализа.

Управление институциональными факторами эффективной интеграции хлебопродуктового комплекса в отраслевую экономику региона требует глубоких теоретико-методологических исследований. Прежде всего, необходимо показать пространственную составляющую этого феномена, поскольку все процессы рыночной трансформации происходят на конкретной территории (Павленко, 2012), социально-экономическая специфика (Филатов & Булавина, 2020) которой с необходимостью накладывает отпечаток на любые изменения в деятельности игроков хлебопродуктового комплекса как территориальной социально-экономической системы.

В настоящее время возникает острая потребность в проведении маркетингового анализа инновационной деятельности предприятий, включающего в себя решение ряда крупных вопросов, связанных с анализом макро- и микросреды бизнеса, анализом и оценкой рыночной конъюнктуры, анализом инновационных позиций в сегменте рынка инноваций отраслевой экономической системы предприятий хлебобулочной промышленности, анализом потребительского спроса, анализом цен на продукцию и услуги.

Кроме того, рассмотрение данных бухгалтерского учета как информационной базы для принятия управленческих решений предполагает разработку методических основ анализа и оценки стратегических управленческих инициатив, а также стратегических управленческих решений в условиях определенности, неопределенности и риска, что особенно важно для инновационной деятельности и позволяет использовать кластерный анализ данных, основанный на методах коллаборативной фильтрации (Amelkina & Amelkin, 2011).

Бизнес-модель предприятий призвана обеспечить эффективность стратегии с точки зрения получения прибыли. Стратегия определяет методы конкуренции и ведения бизнеса предприятий (не касаясь конкретных финансовых результатов и последствий конкурентной борьбы), а бизнес-модель на основании показателей прибыли и издержек, получаемых в результате применения данной стратегии, обеспечивает жизнеспособность предприятий (Бендат & Пирсол, 1989). Длительный срок работы в своей сфере бизнеса и стабильная удовлетворительная прибыль говорят о наличии у предприятий успешной бизнес-модели, подтверждающей рентабельность и жизнеспособность ее стратегии. Модели бизнеса убыточных предприятий или новичков на рынке часто сомнительны: они должны продемонстрировать хотя бы минимальные положительные результаты и таким образом доказать жизнеспособность предприятий и перспективность их стратегий. Однако, при резких изменениях внешних факторов, например, погодных условий, существенных для предприятий пищевой промышленности, успешность предприятия может оказаться переоцененной. Поэтому наравне с проблемой «холодного старта» необходимо учитывать зоны риска, связанные с неустойчивостью условий, в которых работает предприятие (Образцова & Зяблов, 2014).

Цель работы — на основе макросистемного подхода (Tsirlin & Amelkin, 2001; Амелькин, 2005) разра-

ботать универсальный методологический подход обработки больших данных, что актуально как для отраслевой экономики, так и для других областей деятельности — применение такого метода позволит повысить надежность и точность прогнозов и, соответственно, уровень экономической безопасности при различных рисках, характерных для конкретных экономических макросистем. Такой подход не предполагает предварительной обработки данных, что обеспечивает сравнительно высокую скорость работы алгоритма. На основании проведенной обработки данных с использованием байесовских методов прогноза (Шустова & Амелькин, 2016) можно сравнивать состояния системы в разные моменты времени, что также увеличивает скорость алгоритма за счет использования полученных ранее результатов в качестве априорных оценок.

Данные массива учета необходимы для проведения анализа деятельности предприятий отрасли, такой анализ выполняет важнейшую роль в разработке инновационной стратегии, ее адаптации к специфике компаний и условий реализации. Маркетинговый анализ является частью информационной системы стратегического учета деятельности предприятия.

Материалы и методы исследований

Материалы

Статистические данные завода хлебобулочных изделий по выпуску ассортимента продукции за 18 месяцев 2020-2021 года.

Методы

Алгоритм коллаборативной фильтрации (Понизовкин & Амелькин, 2011) использовался для анализа динамических рядов, полученных в базе бухгалтерских данных предприятия (группы предприятий, отрасли).

Байесовские методы прогноза на основе фазовых траекторий использовался для анализа кластеризованных фазовых траекторий (Шустова & Амелькин, 2016).

Процедура исследования

Был проведен анализ статистических данных, полученных из открытых источников, после чего проведено построение фазовых траекторий выпуска продукции хлебозавода.

Для анализа динамических рядов, полученных в базе бухгалтерских данных предприятия (группы предприятий, отрасли), использовали алгоритм коллаборативной фильтрации (Понизовкин & Амелькин, 2011). Суть его в том, что в качестве исходных данных используются все получаемые значения без предварительной обработки – нормирования, агрегирования и пр. Получаемый многомерный динамический ряд аппроксимируется гладкой кривой $x(t)$ в N -мерном метрическом пространстве. Такая аппроксимация корректна при длительном периоде исследования (Бендат & Пирсол, 1989). Кривая $x(t)$ называется траекторией развития предприятия. Для любых двух кривых $x_1(t), x_2(t)$ в N -мерном метрическом пространстве можно рассчитать расстояние $d(x_1, x_2)$ и усредненную кривую $y(t, x_1, x_2)$ такую, что сумма расстояний от этой усредненной кривой до каждой из исходных траекторий минимально.

Предлагаемая методика основана на построении в N -мерном фазовом пространстве траекторий развития предприятий, определении метрики, позволяющей кластеризовать предприятия со сходными критериями и возможностями развития методами коллаборативной фильтрации, определении множества кластеров, близких по выбранной метрике и проведения анализа и прогнозирования развития предприятий путем кластерного анализа полученного множества.

Такая усредненная кривая $y(t, X)$ является результатом коллаборативной фильтрации данных и может быть построена для любого множества траекторий $X = \{x_1(t), x_2(t), \dots, x_m(t)\}$:

$$\sum_{(i=1)}^m d(y, x_i) \rightarrow \min_{(y(t, X))} \quad (1)$$

Кластером траекторий называется множество траекторий X , для которых максимальное расстояние d_{\max} от усредненной траектории не превышает заданного значения d_0 :

$$d_{\max} = \max_i \{d(y, x_i) | \forall i \in X\} \leq d_0. \quad (2)$$

Построенные кластеры объединяют предприятия, сходные по своему положению на рынках, что обеспечивается большим значением N и условиями корреляции между показателями (Басовский, 2010). Задача прогнозирования в этом случае аналогична задаче распознавания образов: определение расстояния от траектории $x(t)$ до кластера X (Бареева, 2007; Бендат & Пирсол, 1989). При существовании нескольких кластеров $X_j \in Y$ ($j = 1, \dots, M$) необходимо определить минимальное

расстояние $d(y_j, x)$ при ограничении на допустимое отклонение в кластерах:

$$\max_i \{d(y_j, x) | \forall j \in Y\} \leq d_0. \quad (3)$$

При этом величина d_0 может быть определена из решения двухкритериальной задачи $\{M \rightarrow \min; d_0 \rightarrow \min\}$.

Выбор метрики

Важным элементом методики кластерного анализа является выбор метрики в N -мерном пространстве динамических рядов. При выборе метрики, определяющей расстояние между траекториями $x_1(t), x_2(t)$ необходимо учитывать не только расположение средних точек траекторий x_1, x_2 , но и корреляционные зависимости между параметрами траекторий. Исходя из этого, в качестве метрики удобно воспользоваться обобщенной метрикой Евклида – Махаланобиса (Земенцкий, 2017):

$$d_G = (\bar{x}_1 - \bar{x}_2)^T A^{-1} (\bar{x}_1 - \bar{x}_2), \quad (4)$$

где матрица A является некоторой функцией $A = \Phi(C_1, C_2)$ корреляционных матриц параметров траекторий C_1, C_2 , такой чтобы:

- матрица A должна быть симметрической и положительно определенной;
- если параметры траекторий не коррелированы друг с другом, что может быть связано как с независимостью параметров, так и с особенностями траекторий, т. е. если $C_1 = C_2 = 0$, то матрица A должна быть равна единичной матрице E , что соответствует Евклидовому расстоянию между траекториями.

Отметим, что элементами корреляционных матриц являются ковариационные моменты, связывающие параметры предприятий. Корреляционные моменты характеризуют не только степень зависимости между переменными, но и величину наклона регрессионной линии. Таким образом, при использовании функции корреляционных матриц $\Phi(C_1, C_2)$ для определения расстояния между траекториями, можно учесть направление траекторий, и при совпадении направлений при прочих равных условиях расстояние будет минимальным, а в случае, когда направления траекторий перпендикулярны – максимальным. Для этого необходимо, чтобы абсолютные значения элементов матрицы A монотонно зависели от разности соответствующих элементов матриц C_1 и C_2 . Такой функцией может быть

$$\Phi(C_1, C_2) = |C_1 - C_2| + E. \quad (5)$$

В этом случае условия, накладываемые на функцию $\Phi(C_1, C_2)$ выполняются, что означает, что при использовании матрицы $A = \Phi(C_1, C_2)$ в (4) величина dG удовлетворяет всем метрическим свойствам.

Параметры развития предприятия имеют размерности, причем хотя размерности элементов вектора $x(t)$ могут быть различны, но для разных траекторий $x_1(t)$ и $x_2(t)$ размерности соответствующих элементов одинаковы. В этом случае элементы корреляционных матриц также размерны: $[c_{\nu\mu}] = [x_\nu] \cdot [x_\mu]$. Для обеспечения корректности вычислений необходимо, чтобы элементы единичной матрицы также были размерны и их размерности совпадали с размерностями соответствующих элементов корреляционной матрицы. Вычисленное значение расстояния dG в этом случае безразмерно, хотя на него будут влиять изменения размерности параметров с учетом масштаба. Решение задач (2) и (3) зависит от выбранного значения d_0 , которое может меняться в зависимости от масштаба измерения.

Байесовские методы прогноза на основе фазовых траекторий

Анализ кластеризованных фазовых траекторий позволяет значительно расширить возможности экономического анализа в условиях больших данных. При большом объеме данных можно точкам z $3N$ -мерного фазового пространства поставить в соответствие вектор плотностей вероятностей рисков событий R_k ($k = 1, \dots, l$) $p(z) = (p_1(z), p_2(z), \dots, p_l(z))$; таким образом, например, выделяем области благоприятного и неблагоприятного финансового состояния как дополнительные оценочные кластеры точек z . Множество достижимости $D(z_0, T)$ включает все точки z , в которые предприятие может перейти за время T из точки z_0 . Вероятностная мера $P(z|z_0)$ – условная плотность вероятности достижения точки z при движении в кластере из точки z_0 определяет приближение кластера фазовых траекторий к оценочным кластерам в течение заданного промежутка времени T (горизонта планирования): $\int_{D(z_0, T)} P(z|z_0) dz = 1$.

Полная вероятность наступления рисков событий $P(R)$ может быть использована в качестве критерия финансового благополучия предприятия:

$$P(R) = \int_{D(z_0, T)} p(z) P(z|z_0) dz.$$

Аналогично можно выделить оценочные кластеры и для других событий, которые могут быть предметом финансового или иного социально-экономического анализа предприятий отраслевой экономической системы хлебобулочной промышленности.

На примере иерархической системы рынок–отрасль–предприятие (Амелькин & Логунова, 2018, Мелехин, 2019) получен универсальный для анализа поведения и выбора стратегии управления макросистем методологический подход обработки больших данных. Методологический подход основан на определении в фазовом пространстве метрики, позволяющей кластеризовать предприятия отраслевой экономической системы хлебобулочной промышленности со сходными критериями и возможностями развития.

Результаты и их обсуждение

Период технологического переоснащения предприятий хлебобулочной отрасли как период перевода производства на новую ступень инновационного развития, как правило, сопряжен с временной потерей производственных мощностей. При этом, чем больше уровень радикальности технологических инноваций, тем больше потери времени на переоснащение, масштабнее затраты средств на него и значительнее потери дохода от реализации. С другой стороны, чем более высокого уровня производственная технология будет внедрена, тем больше будет отдача от производства. (Наруков, 2010) Технологическое переоснащение предприятий хлебобулочной промышленности, как правило, сопряжено с высокой степенью износа основных фондов (Таблица 1)

Сложившаяся ситуация характеризуется высоким уровнем конкуренции на рынке сбыта основной продукции хлебопекарных предприятий - хлеба и хлебобулочных изделий. Следует отметить, что неблагоприятная тенденция в производстве происходит на фоне проблем в области стратегии и тактики конкурентной борьбы, несовершенстве в механизме управления конкурентоспособностью предприятия, что замедляет темпы экономического роста хлебопекарных предприятий (Таблица 2, Таблица 3).

В Таблице 3 представлены данные по производству основных видов пищевых продуктов.

В настоящее время трудно представить себе деятельность хлебопекарного предприятия без не-

Таблица 1

Степень износа основных фондов на конец года по субъектам Российской Федерации, по полному кругу организаций, в процентах* **

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Российская Федерация	45,3	45,3	47,1	47,9	47,7	48,2	49,4	47,7	48,1	47,3	46,6	37,8	39,0
Центральный федеральный округ	39,8	40,0	43,8	44,9	44,4	45,6	46,9	43,7	43,5	41,1	39,4	30,5	31,6
Белгородская область	37,8	38,1	38,2	38,5	40,3	42,5	43,5	44,0	44,4	43,9	44,5	32,5	33,2
Брянская область	49,9	50,3	50,4	49,2	49,3	49,3	49,5	49,9	47,8	48,2	48,6	35,7	37,0
Владимирская область	41,0	42,1	42,3	44,3	44,6	45,4	42,0	43,8	43,8	42,0	45,1	38,2	39,2
Воронежская область	47,3	46,1	47,5	46,2	47,2	47,1	45,4	44,8	44,8	39,1	40,3	31,4	31,3
Ивановская область	48,1	49,7	50,2	67,5	44,6	46,4	50,4	49,9	52,9	52,8	52,6	36,8	37,7
Калужская область	47,2	44,5	42,1	43,0	43,9	42,1	40,9	40,7	42,2	42,8	43,6	33,9	34,7
Костромская область	51,8	53,1	54,8	56,2	57,5	58,5	59,3	58,9	59,2	53,1	54,0	48,9	49,2
Курская область	53,2	53,1	53,8	53,2	53,0	52,5	54,4	52,0	51,4	48,9	50,4	33,9	35,7
Липецкая область	50,5	51,8	52,9	52,6	52,5	49,7	48,4	49,8	50,3	49,3	50,0	46,1	46,8
Московская область	40,5	41,4	42,2	43,8	44,0	45,2	46,4	40,9	42,2	37,8	38,9	24,1	25,9
Орловская область	45,3	46,6	47,0	49,2	46,9	47,5	49,9	50,6	50,2	50,2	48,6	35,7	36,6
Рязанская область	48,5	50,2	52,3	51,1	50,0	49,0	52,5	51,2	52,9	54,1	54,3	40,8	41,7
Смоленская область	50,8	52,4	52,6	52,2	50,2	51,3	52,7	51,0	51,2	51,8	52,2	51,2	47,1
Тамбовская область	48,1	48,7	50,1	50,0	49,4	48,2	49,8	50,1	50,7	49,4	48,6	43,7	44,6
Тверская область	47,2	47,0	47,4	50,9	48,4	49,9	46,3	49,7	47,8	47,8	47,6	44,8	44,6
Тульская область	42,5	41,5	41,6	42,8	41,7	42,3	42,6	41,3	41,3	42,3	41,7	31,0	32,6
Ярославская область	51,8	52,2	53,3	50,8	51,1	50,7	47,4	49,4	49,3	48,6	47,6	45,6	45,7
г. Москва	36,1	35,9	42,0	43,0	43,0	44,6	46,7	42,4	41,9	39,3	36,3	29,1	30,2

* Показатель степени износа основных фондов рассчитан как отношение накопленного на конец года износа основных фондов (разницы полной учетной и остаточной балансовой стоимости) к полной учетной стоимости основных фондов по видам на ту же дату, в процентах.

** Федеральная служба государственной статистики. <https://rosstat.gov.ru/>

прерывной конкурентной экономической борьбы, способность предприятия работать в динамичной конкурентной среде, как минимум в неизменном виде, а лучше с положительной динамикой, является фактором грамотно выстроенного организационно-экономического механизма управления конкурентоспособностью. Несвоевременная реакция предприятия на изменения потребностей рынка несет реальный финансовый ущерб.

Все вышеперечисленное, а также отсутствие организационно-экономического механизма управления конкурентоспособностью хлебопекарных предприятий, позволяющего разработать и реализовать стратегию, направленную на формирование долговременных конкурентных преимуществ и повышение экономической эффективности предприятий (Гаджибек, 2012).

При использовании метрики (4), (5) для анализа временных рядов возникают две проблемы:

При $\overline{x_1} = \overline{x_2}$ $dG = 0$ вне зависимости от направления траекторий.

- Если $x_1(t)$ и $x_2(t)$ – противоположно направленные траектории, то корреляция между ними существенна и не отличается от корреляции между сонаправленными траекториями. Вместе с тем расстояние между такими траекториями должно быть существенно.

Для решения этих проблем необходимо учитывать направление изменения параметров предприятий, а не ограничиваться изучением временного ряда, как статистического множества точек. Расширим пространство параметров, до-

Таблица 2

Потребление хлебных продуктов (на душу населения в год; килограммов)*

	2015	2016	2017	2018	2019	2019, в % к 2018	2020	2020, в % к 2019
Российская Федерация	118	117	117	116	116	100,0	116	100,0
Центральный федеральный округ (ЦФО)	120	119	119	117	117	100,0	117	100,0
Белгородская область	139	141	141	140	139	99,3	139	100,0
Брянская область	107	110	109	104	107	102,9	103	96,3
Владимирская область	116	117	119	118	118	100,0	115	97,5
Воронежская область	137	135	135	134	133	99,3	134	100,8
Ивановская область	110	107	109	111	112	100,9	113	100,9
Калужская область	110	110	111	109	109	100,0	109	100,0
Костромская область	101	102	102	103	104	101,0	104	100,0
Курская область	146	146	146	146	146	100,0	142	97,3
Липецкая область	144	144	145	144	144	100,0	145	100,7
Московская область	123	122	122	120	119	99,2	121	101,7
Орловская область	111	113	115	116	118	101,7	117	99,2
Рязанская область	116	116	117	118	119	100,8	120	100,8
Смоленская область	123	122	125	125	126	100,8	125	99,2
Тамбовская область	154	155	155	153	153	100,0	154	100,7
Тверская область	130	133	128	126	122	96,8	124	101,6
Тульская область	105	105	111	111	107	96,4	108	100,9
Ярославская область	99	95	96	96	97	101,0	96	99,0
г. Москва	112	110	108	106	106	100,0	106	100,0

* Потребление основных продуктов питания населением Российской Федерации. <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13278?print=1>

бавив скорости изменения параметров предприятий, а, в случае достаточно большого периода наблюдений – изменения скоростей параметров предприятий. При гладкой аппроксимации параметров полученный вектор можно записать, как $z(t) = (x(t), x'(t), x''(t))$. Размерность пространства при этом увеличивается до $3N$.

Равенство средних значений векторов $z_1(t), z_2(t)$ может быть достигнуто только при равных значениях $\overline{x_1} = \overline{x_2}, \overline{x_1'} = \overline{x_2'}$ и $\overline{x_1''} = \overline{x_2''}$, что соответствует одинаковым направлениям первых двух производных. Одновременно решается и вторая задача, так как при противоположно направленных

Таблица 3

Производство отдельных видов пищевых продуктов*

	2019		2020		год
	год	I квартал	I полугодие	9 месяцев	
Мука из зерновых культур, овощных и других растительных культур; смеси из них	9417	2283	4530	6751	9164
Крупа, мука грубого помола и гранулы из зерновых культур, не включенные в другие группировки	1001	256	499	709	984
Мука из зерновых культур, овощных и других растительных культур; смеси из них	101,2	100,9	101,3	98,8	97,3
Крупа, мука грубого помола и гранулы из зерновых культур, не включенные в другие группировки	98,7	99,4	103,5	98,9	98,3

* О производстве круп по виду в России в 2017-2021 гг. <https://ab-centre.ru/news/o-proizvodstve-kруп-po-vidu-v-rossii-v-2017-2021-gg>

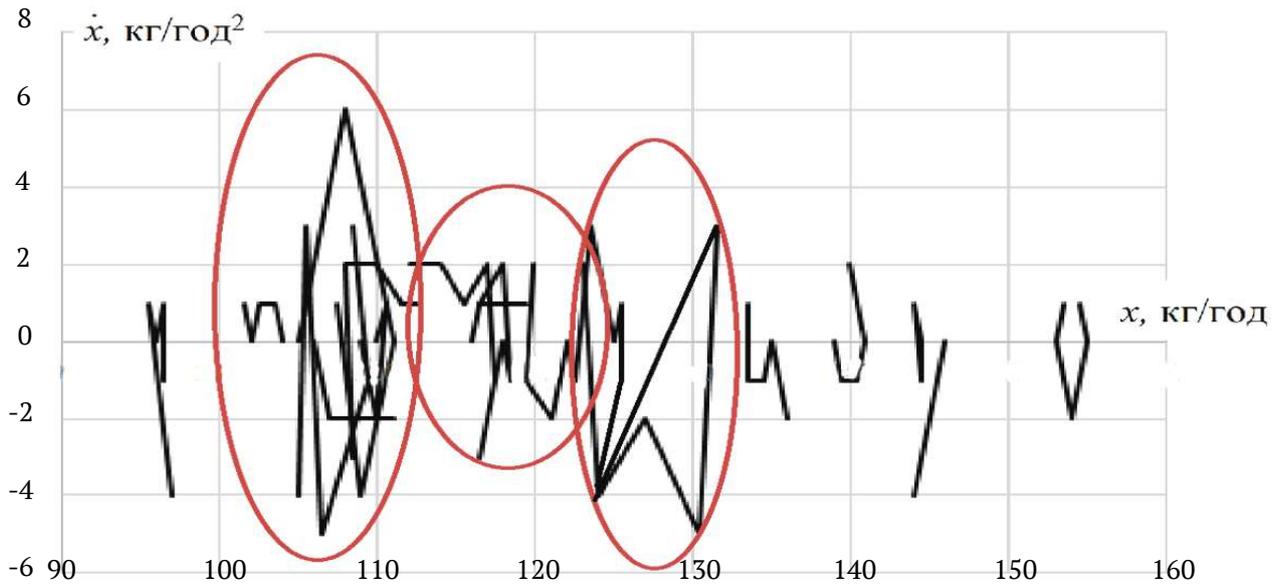


Рисунок 1. Кластеризация хлебобулочной отрасли по среднему потреблению хлебобулочных изделий x (кг/год)

ных траекториях скорости изменения параметров отличаются знаками, что существенно увеличивает расстояние между траекториями.

Вектор $z(t)$ формирует фазовую траекторию предприятия. При формировании кластеров фазовых траекторий можно путем экстраполяции средних фазовых траекторий определить ожидаемые значения параметров при различных горизонтах планирования, выделить точки слияния фазовых траекторий и, наоборот, точки бифуркаций.

В условиях больших данных создать наглядное представление траекторий предприятий без дополнительного агрегирования показателей хозяйственно-финансовой деятельности затруднительно. По общим результатам работы предприятий хлебобулочной промышленности можно сделать некоторые выводы. Фазовый портрет предприятий хлебобулочной промышленности по результатам их деятельности (потреблению хлебобулочных изделий на душу населения в год) выявляет три кластера развития (Рисунок 1). Первый кластер характеризуется сравнительно большой дисперсией при относительно низком уровне потребления, второй — устойчивым потреблением, третий — наличием циклов.

Выводы

Построение метрики и использование фазовых портретов как траекторий вектора $z(t) = (x(t), x'(t), x''(t))$ позволяет использовать данные о предпри-

яти без дополнительной обработки, что обеспечивает устойчивость по отношению к генерации псевдоцелей. Это особенно важно для предприятий пищевой промышленности, где плохоформализуемые качественные показатели значительно влияют на экономическую эффективность их работы.

В этом же пространстве можно выделить области, соответствующие различным уровням риска на каждой страте иерархической системы. Анализ развития траекторий кластеров и траекторий отдельных предприятий в рамках включающего их кластера обеспечивает высокие показатели надежности и полноты прогноза, рассчитанного на основе байесовских методов с различными горизонтами прогноза.

Практическое применение предложенного метода ограничивается проблемой «холодного старта»: для эффективной работы алгоритма необходимо наличие данных за продолжительный, статистически значимый период. При этом необходимо учесть внешние изменения: инфляционные процессы, изменения условий рынка, изменения предпочтений потребителя. Второй проблемой, требующей решения, является неоднородность данных для различных предприятий: ряд показателей, различных для разных предприятий, может быть ненаблюдаемым, общего стандарта мониторинга предприятий нет. Решение этих проблем позволит существенно повысить качество прогноза. Пути решения связаны с использованием метода коллаборативной фильтрации, но матема-

тическое обеспечение требует дальнейшей разработки.

Литература

- Амелькин, С. А. (2005). Предельные возможности процесса ресурсообмена в неоднородной открытой микроэкономической системе. *Математическое моделирование*, 4, 96-104.
- Амелькин, С. А., & Логунова, Н. Ю. (2018). Иерархические макросистемы как модели технологических бизнес-процессов в пищевой промышленности. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 4, 84-91.
- Афанасьева, Ю. И., & Шурпо, А. Н. (2019). Возможности цифровизации пищевых предприятий при обеспечении продовольственной безопасности России. *Вестник Брянского государственного технического университета*, 6, 77-83.
- Бареева, Л. А. (2007). *Развитие системы учетно-информационного обеспечения управления затратами хлебозаводов* [Кандидатская диссертация, Воронежский государственный аграрный университет им. К.Д. Глинки]. Воронеж, Россия.
- Басовский, Л. Е. (2010). *Прогнозирование и планирование в условиях рынка*. М.: ИНФРА-М.
- Бендат, Д. С., & Пирсол, А. Д. (1989). *Прикладной анализ случайных данных*. М.: Мир.
- Березин, И. С. (2003). *Практика исследования рынков*. М.: Бератор-Пресс.
- Буранова, Е. А. (2001). *Экономическое обоснование взаимодействия инвестиционных и инновационных процессов на предприятиях хлебопекарной отрасли* [Кандидатская диссертация, Рязанская государственная сельскохозяйственная академия]. Рязань, Россия.
- Гаджибек, В. П. (2012). *Организационно-экономический механизм управления конкурентоспособностью хлебопекарных предприятий: На примере предприятий Приморского края* [Кандидатская диссертация, Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет]. Владивосток, Россия.
- Голодухина, О. Н. (2009). *Развитие учетно-информационного обеспечения коммерческих организаций на основе моделирования учетных процедур* [Кандидатская диссертация, Рязанская государственная аграрно-технологическая академия имени профессора П. А. Костычева]. Рязань, Россия.
- Земенцкий, Ю. В. (2017). Проблема экономической эффективности кластерных организаций. В *Проблемы обеспечения финансовой безопасности и эффективности экономических систем в XXI в.: Материалы Международной научно-практической конференции* (с. 72-77). СПб.: Санкт-Петербургский университет технологий управления и экономики.
- Касьяненко, Т. Г., & Полоско, А. С. (2015). Применение корреляционно-регрессионного анализа в оценке бизнеса сравнительным подходом. *Российское предпринимательство*, 20, 3611-3622.
- Качалов, Д. Л., Мишустин, А. В., & Фархадов, М. П. (2017). Современные методы обработки больших данных в крупномасштабных системах. В *Математические модели современных экономических процессов, методы анализа и синтеза экономических механизмов. Актуальные проблемы и перспективы менеджмента организаций в России: Труды 11-й Всероссийской научно-практической конференции* (вып. 11, с. 65-70). Самара: Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук.
- Кузьминов, И. Ф. (2018). Ключевые тренды развития агротехнологий и пищевой промышленности: Анализ больших данных. *Вопросы питания*, 87(5), 222-223. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10332>
- Ландсбаум, М. Маркетинг. 2006. 21 век: Практическое пособие. М. Ландсбаум – Москва: ТК Велби, Проспект, 448 с.
- Литвак Б. Г. (2004). Экспертные технологии в управлении: учеб. пособие. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: Дело, 2004. - 400 с.
- Мартемьянов, Ю. Ф., & Лазарева, Т. Я. (2010). *Экспертные методы принятия решений*. Тамбов: Тамбовский государственный технологический университет.
- Мелехин, В. Б., & Хачумов, В. М. (2019а). Многоуровневая модель ситуационного управления технологическими процессами обработки деталей в машиностроении. *Проблемы управления*, 1, 73-82. <https://doi.org/10.25728/pu.2019.1.8>
- Мелехин, В. Б., & Хачумов, В. М. (2019б). Оптимальное управление развитием машиностроительных предприятий. *Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика*, 8, 44-51. <https://doi.org/10.25791/pribor.08.2019.826>
- Наруков, В. В. (2010). *Управление технологическим переоснащением производства: Инновационный аспект* [Кандидатская диссертация, Государственная академия профессиональной переподготовки и повышения квалификации руководящих работников и специалистов инвестиционной сферы]. М., Россия.
- Никитина, М. А., Пчелкина, В. А., & Кузнецова, О. А. (2018). Технологические решения интеллектуальной обработки данных в пищевой промышленности. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 80(2), 256-263.

- Новиков, В. С. (2001). *Совершенствование информационной технологии управления перерабатывающими предприятиями агропромышленного комплекса: на примере хлебопекарной промышленности Ивановской области* [Кандидатская диссертация, Ивановская государственная сельскохозяйственная академия]. Иваново, Россия.
- Образцова, А. А., & Зяблов, А. А. (2014). Основные направления и методы повышения эффективности производства на предприятиях пищевой промышленности. В *Индустриализация современного общества: Теория и практика* (с. 38-41). М.: Московский государственный университет пищевых производств.
- Павленко, Н. В. (2012). *Институциональная интеграция хлебопродуктового территориального комплекса в экономическое пространство региона: На материалах Ставропольского края* [Кандидатская диссертация, Северо-Кавказский государственный технический университет]. Майкоп, Россия.
- Понизовкин, Д. М., & Амелькин, С. А. (2011). Математическая модель коллаборативных процессов принятия решений. *Программные системы: Теория и приложения*, 4, 147-151.
- Спивак, А. А. (1999). *Оценка рисков производственной деятельности хлебопекарных предприятий потребительской кооперации* [Кандидатская диссертация, Белгородский университет потребительской]. Белгород, Россия.
- Старокожева, Л. Г., & Ларькина, Е. В. (2008). Определение финансовой устойчивости отрасли: проблемы построения динамической модели. *Таможенная политика России на Дальнем Востоке*, 2, 106-115.
- Степаненков, В. И. (2000). *Методические и организационные основы снижения издержек производства на предприятиях регионального хлебопекарного комплекса* [Кандидатская диссертация, Московская государственная технологическая академия]. М., Россия.
- Тишковский, Д. В. (2013). *Разработка методического аппарата для создания информационной системы предприятий хлебопекарной промышленности региона* [Кандидатская диссертация, Кубанский государственный технологический университет]. Краснодар, Россия.
- Филатов, В. В. (2017). *Развитие промышленного комплекса России на основе регулирования отраслевого рынка инноваций* [Докторская диссертация, Институт проблем рынка Российской академии наук]. М., Россия.
- Филатов, В. В., & Булавина, Т. А. (2020). Социально-экономические аспекты применения инновационных технологий в производстве хлебобулочных, макаронных и кондитерских изделий. *Health, Food & Biotechnology*, 2(2), 75-91. <https://doi.org/10.36107/hfb.2020.i2.s317>
- Хайров, Р. Р. (2015). *Процессный подход к разработке конкурентной стратегии предприятий хлебопекарной промышленности* [Кандидатская диссертация, Ростовский государственный экономический университет]. Ростов-на-Дону, Россия.
- Цирлин, А. М., Амелькин, С. А., & Амелькина, М. А. (2002). Модель производственной фирмы в открытой микроэкономической системе. *Математическое моделирование*, 14(4), 21-34.
- Шелехова, Н. В., Поляков, В. А., Серба, Е. М., & Шелехова, Т. М. (2018). Перспективы применения IT-технологий на предприятиях пищевой промышленности. *Пищевая промышленность*, 12, 86-89.
- Шустова М.В., Амелькин С.А. 2016. Прогнозирование состояния технической системы на основе байесовской оценки // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2016661083, дата приоритета: 29.07.2016, дата регистрации: 29.09.2016
- Amelkin, S. A., & Gagarina, L. G. (2021). Extreme performance of heat engines as macrosystems with hierarchical efficiency criteria. In *Proceedings of the 2021 IEEE Conference of Russian young researchers in electrical and electronic engineering* (pp. 1956-1959), ElConRus.
- Tsirlin, A., & Amelkin, S. (2001). Dissipation and conditions of equilibrium for an open microeconomic system. *Open Systems & Information Dynamics*, 8(2), 157-168. <https://doi.org/10.1023/A:1011958701019>

Forecasting the Development of the Sectoral Economic System of Bakery Industry Enterprises Based on Clustering Methods of Phase Portraits

Nina Yu. Logunova

*Moscow State University of Food Production
11, Volokolamskoye Shosse, Moscow,
125080, Russian Federation
E-mail: logunina@yandex.ru*

This paper addresses the problem of plotting development trajectories of multiple subsystems forming a single macrosystem. One example of such subsystems is manufacturing enterprises whose business activities can be described by a multitude of indicators. Development trajectories can be used to analyze the dynamics of both individual enterprises and their groups (industry sectors) without aggregating information. Input data for analyzing a company's activities are fed from its accounting records, which serve as a knowledge base for making management decisions. This requires developing a methodological framework for the analysis and evaluation of strategic management initiatives and strategic management decisions under conditions of certainty, uncertainty and risk, which is especially important for innovation and allows the use of cluster analysis. Plotting a development trajectory in the form of a phase portrait, which includes both indicator values and their first and second derivatives, allows forming clusters of the closest trajectories. Such clusters provide additional tools for managing enterprises or entire industries to maximize their efficiency by forecasting enterprise development, refining implicit development criteria, and accounting for poorly formalizable business conditions. Plotting clusters requires introducing a metric in the phase space to account for the properties of development trajectories. For this purpose, a generalized metric was introduced that takes into account the correlation matrices of subsystem indicators as temporal series. When forming phase trajectory clusters, it is possible to determine expected parameter values at different planning horizons by extrapolating average phase trajectories, and to identify the convergence and bifurcation points of individual phase trajectories. This provides a universal big data processing technique for analyzing the behavior of a macrosystem and choosing an appropriate management strategy for it.

Keywords: forecasting, macrosystems, management accounting, subsystem development dynamics, Euclid-Mahalanobis distance, efficiency maximization, planning horizons.

References

- Afanas'eva, Yu. I., & Shurpo, A. N. (2019). Vozможnosti tsifrovizatsii pishchevykh predpriyatii pri obespechenii prodovol'stvennoi bezopasnosti Rossii [Opportunities for digitalization of food enterprises while ensuring food security in Russia]. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Bryansk State Technical University]*, 6, 77-83.
- Amel'kin, S. A. (2005). Predel'nye vozможnosti protsessa resursoobmena v neodnorodnoi otkrytoi mikroekonomicheskoi sisteme [Limiting possibilities of the resource exchange process in a heterogeneous open microeconomic system]. *Matematicheskoe modelirovanie [Mathematical Modeling]*, 4, 96-104.
- Amel'kin, S. A., & Logunova, N. Yu. (2018). Ierarkhicheskie makrosistemy kak modeli tekhnologicheskikh biznes-protsessov v pishchevoi promyshlennosti [Hierarchical macrosystems as models of technological business processes in the food industry]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya [Storage and Processing of Farm Products]*, 4, 84-91.
- Amel'kin, S. A., Zakharov, A. V., & Khachumov, V. M. (2006). Obobshchennoe rasstoyanie Evklida Makhalanobisa i ego svoistva [Generalized distance of Euclid Mahalanobis and its properties]. *Informatsionnye tekhnologii i vychislitel'nye sistemy [Information Technology and Computing Systems]*, 4, 40-44.
- Barekova, L. A. (2007). *Razvitie sistemy uchetno-informatsionnogo obespecheniya upravleniya zatratami khlebozavodov [Development of a system of accounting and information support for cost management of bakeries]* [Candidate Dissertation, Voronezhskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet im. K.D. Glinki]. Voronezh, Russia.

- Basovskii, L. E. (2010). *Prognozirovanie i planirovanie v usloviyakh rynka* [Forecasting and planning in market conditions]. Moscow: INFRA-M.
- Bendat, D. S., & Pirsol, A. D. (1989). *Prikladnoi analiz sluchainykh dannykh* [Applied random data analysis]. Moscow: Mir.
- Berezin, I. S. (2003). *Praktika issledovaniya rynkov* [Market research practice]. Moscow: Berator-Press.
- Buranova, E. A. (2001). *Ekonomicheskoe obosnovanie vzaimodeistviya investitsionnykh i inno-vatsionnykh protsessov na predpriyatiyakh khlebopekarnoi otrasli* [Economic justification for the interaction of investment and innovation processes at the enterprises of the baking industry] [Candidate Dissertation, Ryazanskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaistvennaya akademiya]. Ryazan', Russia.
- Filatov, V. V. (2017). *Razvitie promyshlennogo kompleksa Rossii na osnove regulirovaniya otraslevogo rynka innovatsii* [Development of the industrial complex of Russia on the basis of regulation of the sectoral market of innovations] [Doctoral Dissertation, Institut problem rynka Rossiiskoi akademii nauk]. Moscow, Russia.
- Filatov, V. V., & Bulavina, T. A. (2020). Sotsial'no-ekonomicheskie aspekty primeneniya innovatsionnykh tekhnologii v proizvodstve khlebobulochnnykh, makaronnykh i konditer-skikh izdelii [Socio-economic aspects of the application of innovative technologies in the production of bakery, pasta and confectionery products]. *Health, Food & Biotechnology*, 2(2), 75-91. <https://doi.org/10.36107/hfb.2020.i2.s317>
- Gadzhibek, V. P. (2012). *Organizatsionno-ekonomicheskii mekhanizm upravleniya konkurento-sposobnost'yu khlebopekarnykh predpriyatii: Na primere predpriyatii Primorskogo kraia* [Organizational and economic mechanism for managing the competitiveness of bakery enterprises: On the example of enterprises of Primorsky Krai] [Candidate Dissertation, Dal'nevostochnyi gosudarstvennyi tekhnicheskii rybokhozyaistvennyi universitet]. Vladivostok, Russia.
- Golodukhina, O. N. (2009). *Razvitie uchetno-informatsionnogo obespecheniya kommercheskikh organizatsii na osnove modelirovaniya uchetnykh protsedur* [Development of accounting and information support for commercial organizations based on the modeling of accounting procedures] [Candidate Dissertation, Ryazanskaya gosudarstvennyi agrotekhnologicheskii universitet imeni professora P. A. Kostycheva]. Ryazan', Russia.
- Kachalov, D. L., Mishustin, A. V., & Farkhadov, M. P. (2017). Sovremennye metody obrabotki bol'shikh dannykh v krupnomasshtabnykh sistemakh [Modern methods of processing big data in large-scale systems]. In *Matematicheskie modeli sovre-mennykh ekonomicheskikh protsessov, metody analiza i sinteza ekonomicheskikh mekha-nizmov. Aktual'nye problemy i perspektivy menedzhmenta organizatsii v Rossii: Trudy 11-i Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Mathematical models of modern economic processes, methods of analysis and synthesis of economic mechanisms. Actual problems and prospects of management of organizations in Russia: Proceedings of the 11th All-Russian Scientific and Practical Conference] (vol. 11, pp. 65-70). Samara: Samarskii federal'nyi issledovatel'skii tsentr Rossiiskoi akademii nauk.
- Kas'yanenko, T. G., & Polosko, A. S. (2015). Primenenie korrelyatsionno-regressionnogo analiza v otsenke biznesa sravnitel'nym podkhodom [Application of correlation and regression analysis in business valuation by comparative approach]. *Rossiiskoe predprinimatel'stvo* [Russian Entrepreneurship], 20, 3611-3622.
- Khairov, R. R. (2015). *Protsessnyi podkhod k razrabotke konkurentnoi strategii predpriyatii khlebopekarnoi promyshlennosti* [Process approach to the development of a competitive strategy for bakery enterprises] [Candidate Dissertation, Rostovskii gosudarstvennyi ekonomicheskii universitet]. Rostov-na-Donu, Russia.
- Kuz'minov, I. F. (2018). Klyuchevye trendy razvitiya agrotekhnologii i pishchevoi promyshlennosti: Analiz bol'shikh dannykh [Key trends in the development of agricultural technologies and the food industry: Big data analysis]. *Voprosy Pitaniya* [Nutrition Issues], 87(5), 222-223. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2018-10332>
- Martem'yanov, Yu. F., & Lazareva, T. Ya. (2010). *Ekspertnye metody prinyatiya reshenii* [Expert Decision Methods]. Tambov: Tambovskii gosudarstvennyi tekhnologicheskii universitet.
- Melekhin, V. B., & Khachumov, V. M. (2019a). Mnogourovnevaya model' situatsionnogo upravleniya tekhnologicheskimi protsessami obrabotki detalei v mashinostroenii [Multilevel model of situational control of technological processes of processing parts in mechanical engineering]. *Problemy upravleniya* [Management Issues], 1, 73-82. <https://doi.org/10.25728/pu.2019.1.8>
- Melekhin, V. B., & Khachumov, V. M. (2019b). Optimal'noe upravlenie razvitiem mashino-stroitel'nykh predpriyatii [Optimal management of the development of machinebuilding enterprises]. *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika* [Devices and Systems. Management, Control, Diagnostics], 8, 44-51. <https://doi.org/10.25791/pribor.08.2019.826>
- Narukov, V. V. (2010). *Upravlenie tekhnologicheskim pereosnashcheniem proizvodstva: Innovatsionnyi aspekt* [Management of technological reequipment of production: An innovative aspect] [Candidate

- Dissertation, Gosudarstvennaya akademiya professio-nal'noi perepodgotovki i povysheniya kvalifikatsii rukovodyashchikh rabotnikov i spetsialistov investitsionnoi sfery]. Moscow, Russia.
- Nikitina, M. A., Pchelkina, V. A., & Kuznetsova, O. A. (2018). Tekhnologicheskie resheniya in-tellektual'noi obrabotki dannykh v pishchevoi promyshlennosti [Technological solutions for intelligent data processing in the food industry]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii [Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technologies]*, 80(2), 256-263.
- Novikov, V. S. (2001). *Sovershenstvovanie informatsionnoi tekhnologii upravleniya perera-batyvayushchimi predpriyatiyami agropromyshlennogo kompleksa: Na primere khlebope-karnoi promyshlennosti Ivanovskoi oblasti [Improvement of information technology for managing processing enterprises of the agro-industrial complex: On the example of the baking industry of the Ivanovo region]* [Candidate Dissertation, Ivanovskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaistvennaya akademiya]. Ivanovo, Russia.
- Obraztsova, A. A., & Zyablov, A. A. (2014). Osnovnye napravleniya i metody povysheniya ef-fektivnosti proizvodstva na predpriyatiyakh pishchevoi promyshlennosti [The main directions and methods of increasing the efficiency of production at food industry enterprises]. In *Industrializatsiya sovremennogo obshchestva: Teoriya i praktika [Industrialization of Modern Society: Theory and Practice]* (pp. 38-41). Moscow: Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv.
- Pavlenko, N. V. (2012). *Institutsional'naya integratsiya khleboproduktovogo territorial'nogo kompleksa v ekonomicheskoe prostranstvo regiona: na materialakh Stavropol'skogo kraia [Institutional integration of the bakery territorial complex into the economic space of the region: On the materials of the Stavropol Territory]* [Candidate Dissertation, Severo-Kavkazskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet]. Maikop, Russia.
- Ponizovkin, D. M., & Amel'kin, S. A. (2011). Matematicheskaya model' kollaborativnykh protsessov prinyatiya reshenii [Mathematical model of collaborative decision-making processes]. *Programmnye sistemy: Teoriya i prilozheniya [Software Systems: Theory and Applications]*, 4, 147-151.
- Shelekhova, N. V., Polyakov, V. A., Serba, E. M., & Shelekhova, T. M. (2018). Perspektivy pri-meneniya IT-tekhnologii na predpriyatiyakh pishchevoi promyshlennosti [Prospects for the use of IT technologies in food industry enterprises]. *Pishchevaya pro-myshlennost' [Food Industry]*, 12, 86-89.
- Spivak, A. A. (1999). *Otsenka riskov proizvodstvennoi deyatel'nosti khlebopekarnykh pred-priyatii potrebitel'skoi kooperatsii [Assessing the risks of production activities of bakery enterprises of consumer cooperation]* [Candidate Dissertation, Belgorodskii universitet potrebitel'skoi]. Belgorod, Russia.
- Starokozheva, L. G., & Lar'kina, E. V. (2008). Opre-delenie finansovoi ustoichivosti otras-li: problemy postroeniya dinamicheskoi modeli [Determining the Financial Sustainability of an Industry: Problems of Building a Dynamic Model]. *Tamozhennaya politika Rossii na Dal'nem Vostoke [Customs policy of Russia in the Far East]*, 2, 106-115.
- Stepanenko, V. I. (2000). *Metodicheskie i organizatsionnye osnovy snizheniya izderzhek proizvodstva na predpriyatiyakh regional'nogo khlebopekarnogo kompleksa [Methodical and organizational bases for reducing production costs at the enterprises of the regional bakery complex]* [Candidate Dissertation, Moskovskaya gosudarstvennaya tekhnologicheskaya akademiya]. Moscow, Russia.
- Tishkovskii, D. V. (2013). *Razrabotka metodicheskogo apparata dlya sozdaniya informatsion-noi sistemy predpriyatii khlebopekarnoi promyshlennosti regiona [Development of a methodological apparatus for creating an information system for enterprises of the baking industry in the region]* [Candidate Dissertation, Kubanskii gosudarstvennyi tekhnologicheskii universitet]. Krasnodar, Russia.
- Tsirlin, A. M., Amel'kin, S. A., & Amel'kina, M. A. (2002). Model' proizvodstvennoi fir-my v otkrytoi mikroekonomicheskoi sisteme [Model of a manufacturing firm in an open microeconomic system]. *Matematicheskoe Modelirovanie [Mathematical Modeling]*, 14(4), 21-34.
- Zementskii, Yu. V. (2017). Problema ekonomicheskoi effektivnosti klasternykh orga-nizatsii [The problem of economic efficiency of cluster organizations]. In *Problemy obespecheniya finansovoi bezopasnosti i effektivnosti ekonomicheskikh sistem v XXI v.: Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [Problems of Ensuring Financial Security and Efficiency of Economic Systems in the 21st Century: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference]* (pp. 72-77). S-Petersburg: Sankt-Peterburgskii universitet tekhnologii upravleniya i ekonomiki.
- Amelkin, S. A., & Gagarina, L. G. (2021). Extreme performance of heat engines as macrosystems with hierarchical efficiency criteria. In *Proceedings of the 2021 IEEE Conference of Russian young researchers in electrical and electronic engineering* (pp. 1956-1959), ElConRus.
- Tsirlin, A., & Amelkin, S. (2001). Dissipation and conditions of equilibrium for an open microeconomic system. *Open Systems & Information Dynamics*, 8(2), 157-168. <https://doi.org/10.1023/A:1011958701019>

Оценка возможности использования системы технического зрения для контроля маркировки готовой молочной продукции

Музыка Максим Юрьевич

Московский государственный университет пищевых производств

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, д. 11

E-mail: muzyka@mgupp.ru

Благовещенская Маргарита Михайловна

Московский государственный университет пищевых производств

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, д. 11

E-mail: mmb@mgupp.ru

Благовещенский Иван Германович

Московский государственный университет пищевых производств

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, д. 11

E-mail: igblagov@mgupp.ru

Аднодворцев Александр Михайлович

Московский государственный университет пищевых производств

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, д. 11

E-mail: adnodvortsev@yandex.ru

Благовещенский Владислав Германович

Московский государственный университет пищевых производств

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, д. 11

E-mail: bvg1996@mail.ru

Бунеев Алексей Владимирович

ООО «Омрон Электроникс»

Адрес: 125040, Москва, ул. Правды, д. 26

E-mail: alexey.buneev@eu.omron.com

В современных производственных процессах трудоемкость маркировочных операций составляет значительную долю. Практически, весь ассортимент пищевой продукции подлежит маркировке. В статье подчеркивается постоянно растущая сложность контроля качества выпускаемых пищевых продуктов и множественная их фальсификация. Рассмотрены и проанализированы существующие методы и средства маркировки. Показаны достоинства и недостатки существующих систем. В статье проанализирована возможность использования систем технического зрения для автоматизации контроля качества маркировки молочной продукции. Дана общая схема проведения исследований. Рассматривалось решение системой технического зрения следующих задач: получение и классификация изображений, детектирование объектов (бутылок кефира); обработка полученного изображения и семантическая сегментация; сегментация экземпляров этикеток по полученным данным. Проведенные исследования позволили сделать вывод о перспективности использования для этих целей системы технического зрения. Представлен состав системы технического зрения. Выбран наиболее эффективный для решения поставленных задач алгоритм обработки полученного изображения. Предложен оптимальный тип камеры, дана характеристика разработанной системы автоматического контроля качества маркировки с указанием времени выдержки и времени проверки после трансформирования изображения. Представлены различные уровни изображения и рассмотрено их влияние на качество получаемого результата.

Используя выбранный алгоритм, были проведены экспериментальные исследования по сканированию объекта системой технического зрения. осуществлен выбор оптимального расположения видеодатчиков. Разработан блок обработки входного изображения и сканирования пограничных установок для обеих сторон объекта сканирования. В результате проведенных исследований в статье делается вывод о перспективности внедрения цифровой системы автоматического контроля качества маркировки молочной продукции на базе использования системы технического зрения.

Ключевые слова: маркировка, готовая молочная продукция, автоматизация контроля качества, система технического зрения

Введение

Магистральным направлением повышения эффективности современного пищевого производства является цифровизация и комплексная автоматизация всех его сфер и стадий, обеспечение унификации и маркировки выпускаемой промышленной продукции (Балыхин и др., 2017а; Балыхин и др., 2017б; Благовещенский, 2017; Петряков, 2019). Одним из неотъемлемых элементов современного производства является маркировка выпускаемой продукции (Крылова и др., 2017). Маркировка детали, узла или конечного изделия позволяет производителю контролировать объем выпускаемой продукции и её качество, продвигать свою торговую марку (Благовещенская & Злобин, 2005). Пользователь получает на маркированном изделии информацию о типе и параметрах продукции и гарантию качества от производителя (Провоторов, 2014).

Особое место в этом направлении по наукоемкости, сложности и трудоемкости процессов, занимает автоматизация процессов маркировки готовой пищевой продукции, которую государство ввело для борьбы с поддельной и некачественной продукцией, поскольку постоянно растет сложность контроля качества выпускаемых пищевых продуктов и множественная их фальсификация. Очень часто состав и функциональные аспекты пищевых изделий непонятны для потребителей с первого взгляда (Благовещенская, 2009). Маркировка изделий пищевой промышленности, нанесенная на упаковку продукта, позволяет в сжатой форме, но в то же время достаточно полно передать потребителю важную информацию о продукте: дата изготовления пищевой продукции, ее производитель, сведения о качественной характеристике, количественном составе пищевой продукции, ее пищевой ценности и так далее.

По специальному коду на каждой упаковке можно отследить перемещение продукции от производителя до потребителя. В современных производственных процессах трудоемкость маркировочных операций составляет значительную долю. Так, в мо-

лочной промышленности в цехах готовой молочной продукции трудоемкость маркировочных операций превышает 13%. Производитель или импортер наносит уникальный код на каждую потребительскую упаковку и передает перечень нанесенных кодов в систему маркировки. Далее все участники цепочки сканируют коды и подтверждают их получение от поставщика. Таким образом государство может отследить этапы передвижения, вид товара, его характеристики и момент выхода из оборота.

Молочная промышленность – одна из важнейших отраслей народного хозяйства. Она поставляет на потребительский рынок основные продукты питания: молоко, сливки, творог, творожную массу, кисломолочные продукты, простоквашу, сметану, йогурты, творожные сырки. Без этих продуктов жизнь людей будет неполноценной, так как основные белки, жиры, ферменты и другие составляющие содержатся в молочных и кисломолочных продуктах. Молокоперерабатывающие предприятия обеспечивают около 12% суммарного объема продукции отрасли. Общее число компаний, вырабатывающих молочные продукты, превышает 1600, из них 72 предприятия имеют мощность по переработке более 55 тыс. тонн молока в год (Pasco et al., 2018).

Кисломолочные напитки обладают разносторонними биологическими и лечебными свойствами. В результате биохимических процессов, протекающих при сквашивании молока, кисломолочные продукты приобретают диетические и лечебные свойства. Кисломолочные продукты широко применяют для профилактики и лечения многих заболеваний, особенно желудочно-кишечного тракта (Nikolskaya et al., 2019).

Одним из самых востребованных кисломолочных продуктов является кефир. Кефир полезен при малокровии, истощении организма, хронических колитах. В процессе производства кисломолочные продукты обогащаются витаминами, С и В12, что объясняется способностью некоторых молочнокислых бактерий синтезировать эти витамины (Поднебесных, 2020).

В настоящее время кефир – это один из наиболее популярных в нашей стране отечественных кисломолочных напитков, который пользуется повышенным спросом у населения¹. Этому способствует развитие интереса к диетическому и здоровому питанию. Растут объемы производства кефира. В 2020 году производство кефира выросло на 1,3% до 231,4 тыс. тонн по сравнению с аналогичным периодом 2019 года¹.

Высокая биологическая и пищевая ценность, содержание значительного количества витаминов, солей кальция и фосфора позволяют использовать кефир в профилактике многих заболеваний. Поэтому все более возрастают требования к повышению качества и конкурентоспособности этого полезного отечественного продукта питания. В связи с увеличением спроса населения на него, производство кефира на предприятиях нашей страны систематически расширяется и влечет за собой необходимость внедрения средств непрерывного автоматического контроля, регулирования и управления с использованием интеллектуальных технологий (Карелина и др., 2019).

Поскольку с 1 января 2022 года постановлением правительства производители обязаны маркировать все выпускаемые кисломолочные продукты¹, остро встает вопрос об автоматизации контроля нанесения маркировки, которая позволит автоматически прямо на линии производства кефира провести инспекцию качества нанесения маркировки и механическую отбраковку продукции с нечитаемой этикеткой.

Тема настоящей статьи позволяет решить проблему автоматизации контроля маркировки с использованием системы технического зрения. В качестве основных задач исследования выделены следующие задачи:

- провести анализ существующих решений в области достоверности информационного обеспечения;
- проанализировать процесс маркировки кефира как объекта управления и существующих методов и способов маркировки этой продукции;
- исследовать возможность использования системы технического зрения для контроля качества нанесенной маркировки;
- разработать алгоритмы контроля качества нанесенной на бутылки кефира маркировки;
- разработать блок автоматической инспекции качества маркировки;

- разработать систему автоматического контроля качества маркировки молочной продукции с использованием технического зрения.

Научная новизна данного исследования заключается в следующем:

- доказана возможность обеспечения контроля качества нанесенной маркировки за счет применения интеллектуальных технологий;
- разработан алгоритм процесса контроля качества нанесенной маркировки;
- разработан блок автоматической инспекции качества маркировки молочной продукции и система управления этим блоком.

Целью данной работы является повышение достоверности информационного обеспечения производства, развитие и совершенствование методов и алгоритмов управления процессом контроля маркировки за счет использования системы технического зрения для повышения качества промышленного производства кефира

В научной литературе известны работы, авторы которых ставили задачи совершенствования и автоматизации маркировки изделий: П.О. Архипов (Архипов, 2003); В.И. Безруков (Безруков, 2003); М.Г. Балыхин, М.М. Благовещенская, И.Г. Благовещенский, З.В. Макаровская, Е.А. Назойкин (Балыхин и др., 2019), М.М. Благовещенская, Л.А. Злобин (Благовещенская & Злобин, 2005); И.Г. Благовещенский (Благовещенский и др., 2016; Благовещенский и др., 2016), Э.М.Т. Хамед, И.Г. Благовещенский, В.Г. Благовещенский, Д.В. Зубов (Хамед и др., 2020), которыми решались задачи разработки автоматизированных систем маркировки и учета готовой продукции на основе программно-аппаратных комплексов.

Проведенный обзор и анализ работ посвященных этой проблеме выявил, что к настоящему времени большой вклад в создание и совершенствование методов и средств маркировки, работающих на линиях производства пищевых продуктов, внесли: Д. Апанович, Ю. Ковердяев, А. Крылов, В. Токарев, занимавшиеся разработкой методов контроля качества маркировки изделий; М. Золотухин (Золотухин, 1998); Е. Мартиросова (Мартиросова, 1998); Ю.Д. Карякин (Карякин, 2000), занимавшиеся разработкой способов нанесения маркировки. Правовым регулированием маркировки товаров средствами идентификации в электронной форме активно занималась Андреева Л.В. (Андреева, 2019).

¹ *Новости и аналитика молочного рынка.* <https://milknews.ru/>

Предложенная статья базируется на результатах работ следующих научных школ и направлений:

- разработка интеллектуальных экспертных систем контроля качества пищевых продуктов – М.М. Благовещенская (Благовещенская, 2009), И.Г. Благовещенский, М.Г. Балыхин, А.Б. Борзов, И.Г. Благовещенский (Балыхин и др., 2017); С.Д. Савостин, М.М. Благовещенская, И.Г. Благовещенский (Савостин и др., 2016);
- использование систем технического зрения для автоматизации контроля органолептических показателей качества пищевых изделий – А.Ю. Петров, М.М. Благовещенская, В.Г. Благовещенский, А.В. Ионов, И.Г. Благовещенский (Петров и др., 2019); И.Г. Благовещенский, З.В. Макаровская, М.М. Благовещенская, С.В. Чувахин, В.В. Митин (Благовещенский и др., 2019), И.Г. Благовещенский, С.М. Носенко (Благовещенский & Носенко, 2015), К.В. Гарев, И.Г. Благовещенский, Е.А. Назойкин, В.Г. Благовещенский, З.В. Макаровская (Гарев и др., 2019), К.А. Гончаров, И.Г. Благовещенский, Е.А. Назойкин, В.Г. Благовещенский, З.В. Макаровская (Гончаров и др., 2019);
- автоматизация маркировки продукции – С.Б. Одинокоев (Одинокоев, 2011), М.О. Жмакин (Жмакин, 2011);
- алгоритмизация распознавания знаков – С.Н. Anagnostopoulos, V.C. Loumos, E.A. Kayafas, (Anagnostopoulos, Loumos, & Kayafas, 2009);
- система машинного зрения для визуализации дефектов, их обнаружения на поверхности трехмерного объекта - D. Aluze, F. Merienne, C. Dumont, P. Gorria (Aluze, Merienne, Dumont & Gorria, 2002), Z. Bien, S.R. Oh, J. Won (Bien, Oh, Won, 2009);
- системы визуального наблюдения с использованием передовых технологий для оптимального размещения цифровых камер - F. Angella, L. Reithler, F. Gallesio (Angella, Reithler & Gallesio, 2007); I.H. Chen, S.J. Wang, (Chen, Wang, 2006).;
- автоматизация контроля качества пищевых продуктов – Л.А. Крылова, В.Г. Благовещенский, А.В. Татаринов (Крылова и др., 2017), В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, Е.А. Назойкин, А.С. Носенко (Благовещенский и др., 2016), В.Г. Благовещенский, И.Г. Благовещенский, Е.А. Назойкин, В.О. Савельев (Благовещенский и др., 2016), В.Г. Благовещенский, М.Ю. Никитушкина (Благовещенский & Никитушкина, 2017), В.Г. Благовещенский, Л.А. Крылова, А.С. Максимов (Благовещенский и др., 2017).

В настоящее время наблюдается растущий интерес к технологиям и системам автоматической идентификации на основе технического зрения. Вклад в разработку методов и систем идентификации на основе технического зрения внесли Х.Д. Хауштайн, М.С. Хлытчиев, С.С. Садыков, В.С. Титов, S. Draghici, O. Martinsky (Астафьев, 2015); И. Сергеев (Сергеев, 2020); А.И. Рябов, В.А. Штерензон (Рябов & Штерензон 2021); О.Ю. Тихонова, Т.В. Котова, (Тихонова & Котова, 2020)

Большой вклад в развитие методов обработки и локализации изображений внесли Соифер В.А., Прэтт У.К., Ярославский Л.П., Садыков С.С., Визильтер Ю.В., Васин Ю.Г., Утробин В.А., Приоров А.Л., Фурман Я.А. (Чернов, 2018); Дворкович В.П., Дворкович А.В., Ересью Ю.Н., Моттль В.В., Гонсалес Р., Sloan А., Crownover R., Vrscay E., Peng F., Davis G., Freeman G., Lin П., Kaplan M., Keller M., Varma M., Bamsley M., Ghazel M., Zmeäkal O., Sarkar N., Suzuki Y. и другие (Птицын, 2006).

Автоматизированной идентификации маркировки продукции с использованием специального программного обеспечения посвящены работы Дьяконова В., Абраменковой И.² В работах Черненко В. М., Птицына Н. В. (Черненко & Птицын, 2005) исследуются известные на сегодня методы маркировки, решающие частные задачи и не позволяющие в требуемом объеме и на применяемом производственном оборудовании создавать средства для контроля подлинности и обеспечения достоверности сведений выпускаемой продукции.

Большинство исследователей занимаются моделированием и автоматизацией управления маркировкой продукции, не связанной с отраслями пищевой промышленности. Многие актуальные вопросы совершенствования и автоматизации маркировки изделий пищевых производств до настоящего времени не решены. В частности, не было исследований по важному пищевому продукту - кефиру. Поэтому ключевые задачи связанные с оценкой возможности использования системы технического зрения для автоматического контроля маркировки готовой молочной продукции остаются нерешенными. Также, до настоящего времени не предложено никакой теоретически обоснованной методики автоматизации управления режимами процесса маркировки молочной продукцией с целью оптимизации молочной продукцией с целью оптимизации этого процесса.

² Дьяконов, В., & Абраменкова, И. (2002). *Matlab. Обработка сигналов и изображений: Специальный справочник*. СПб: Питер.

Целью данной работы явилось апробация системы технического зрения для автоматизации контроля качества маркировки готовой молочной продукции, что позволит решить практические задачи по повышению эффективности производства молочной продукции за счет использования интеллектуальных технологий.

Материалы и методы исследования

Объект исследования

Объектом исследования являлась типовая поточная линия производства кефира с использованием оборудования для маркировки ООО «Глобал Принтинг Системс» (Россия) и процессы технического контроля и управления качеством на всех этапах производства этого продукта.

Методы исследования

В работе использованы основные понятия теории алгоритмов, системного анализа, основные положения теории автоматического управления, общие принципы математического моделирования, элементы теории искусственного интеллекта, теория принятия решений, теория вероятностей и математической статистики, теория распознавания образов, методы цифровой обработки изображения, методы системного анализа и математической статистики.

Анализ данных

Вычисления в процессе исследований, численная и графическая обработка результатов производились с применением математического аппарата прикладных программ. Численная и графическая обработка результатов исследований производилась с применением MatLab, Labview, EDEM.

Процедура исследования

Техническое зрение подразумевает распознавание реальных объектов на изображении и определение свойств этих объектов, что позволяет решать

одновременно несколько задач контроля с высокой скоростью, точностью и надежностью.

На первом этапе исследований в соответствии с поставленной целью, была исследована возможность использования технического зрения для распознавания положения и определения пространственного местоположения маркировки на бутылках кефира и передача информации о положении и ориентации маркировки в систему управления или программируемый логический контроллер. На втором этапе работ были проведены исследования по использованию системы технического зрения для инспекции правильности расположения маркировки, ее наличия или отсутствия на бутылке.

Исследования велись по схеме, представленной на Рисунке 1.

С использованием системы технического зрения рассматривалось решение следующих задач маркировки:

Получение и классификация изображений. Отнесение входного изображения к одному из классов. Помимо классификации изображения, сюда же добавлялась возможность локализовать классифицируемый объект.

Детектирование объектов (бутылок кефира). Выделение на входном изображении объектов разных классов. Под выделением понимается размещение объекта на изображении в прямоугольную область.

Обработка полученного изображения и семантическая сегментация. Помимо детектирования объектов разных классов, появляется необходимость их сегментирования, т.е. нужно выделить каждый из объектов разного класса полигоном, закрасив каждый пиксель класса определенным цветом.

Сегментация экземпляров этикеток по полученным данным. Проводится сегментация каждого из экземпляров классов.

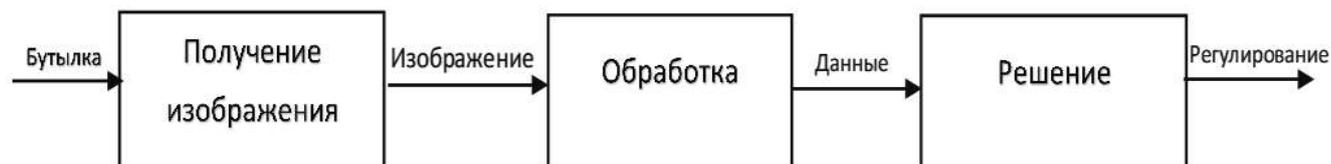


Рисунок 1. Общая схема проведения исследований

Результаты и их обсуждение

Для решения поставленных задач, первое, с чего были начаты исследования - это выбор и подготовка системы технического зрения для проведения намеченных работ. Был изучен комплекс устройств, входящих в состав системы технического зрения, и выбран наиболее эффективный для данных исследований набор технических средств.

Основными из них являются: камера, осуществляющая захват изображения, и блок обработки изображения или контроллер. Дополнительными устройствами, но не менее важными, являются оптика, определяющая границы обзора камеры, подсветка, освещающая объект наблюдения, и дисплей, необходимый для отображения информации в реальном времени и для настройки системы. Эти компоненты могут совмещаться. Например, камера может иметь встроенный объектив с автофокусировкой и интеллектуальную подсветку. А контроллер или блок обработки может иметь встроенный дисплей. Таким образом, обеспечивается компактность системы.

В зависимости от функционала и сложности устройства делятся на датчики изображения и системы технического зрения. Первые отличаются простотой в настройке и использовании, а также небольшим набором функций. Вторые предоставляют широкий выбор инструментов для решения большого круга задач и содержат сложное программное обеспечение. Настройка сложных систем может потребовать подключения внешнего компьютера.

В качестве инструментов для проведения исследований в данной работе была использована линейка датчиков технического зрения Xrestia от фирмы Omron, так как она является единственной крупной фирмой занимающийся ими на территории России. Самой высокотехнологичной системой в линейке Omron является Xrestia. Это представитель нового класса систем технического

зрения с распознаванием реальных цветов, с высокой разрешающей способностью, с поддержкой трехмерных и двумерных измерений одновременно, с интуитивно-понятным интерфейсом.

В модельный ряд Xrestia входят контроллеры со встроенным сенсорным экраном или без него, поддерживающие подключение до четырех камер. Имеются монохромные и цветные цифровые камеры с разрешением светочувствительной матрицы от 0,3 Мп (640×480) до 2 Мп (1600×1200), камеры с автозумом (переменным фокусным расстоянием), со встроенным объективом с автофокусировкой и интеллектуальной подсветкой, камеры для трехмерного измерения. В данной работе был использован набор сменных объективов с фокусными расстояниями 5...100 мм и диафрагмами F1,4...F2,8, которые позволяют работать с любой произвольной зоной обзора, а также имеется возможность работать с внешним освещением. Подобно человеческому глазу, Xrestia может распознавать более 16 миллионов цветов и идентифицировать любой объект независимо от его цветовой гаммы, размера или расстояния.

Были проведены исследования по оптимизации производства кефира на поточной линии с помощью одного из решений фирмы Omron Xrestia-Labeling. Суть оптимизации заключается в проверке правильности наклеенной этикетки и считывание штрих кодов с неё для последующего внесения полученных данных в базу. На большинстве пищевых предприятий этой инспекционной работой занимается специальный человек - инспектор, а на некоторых предприятиях такой проверки вообще не существует. Поэтому процент брака по этим параметрам неоправдательно велик. С помощью создания блока инспекции на основе использования системы технического зрения в линии производства кефира этот недостаток будет устранен.

Для проведения исследования был разработан блок инспекции качества маркировки, представленный на Рисунке 2, который объединяет в себе

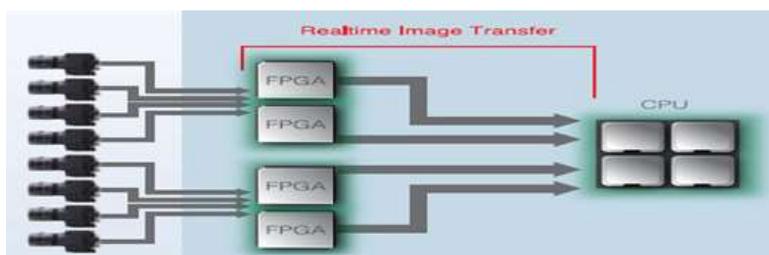


Рисунок 2. Блок инспекции качества маркировки

четыре датчика Omron FZ-SC2M, подключаемых по интерфейсу EtherCAT, и контроллер FZ3-H7xx, который обрабатывает поступающие изображения. Сами датчики обеспечены светодиодной подсветкой, распознаванием более 16 миллионов цветов и возможностью считывания кодов.

Настройка данной системы происходит с помощью программного обеспечения Sysmac Studio Automation (Рисунок 3), которое является собственной разработкой фирмы как STEP7 у Siemens. Отвечая всем общепризнанным параметрам, эта система поддерживает общие стандарты, такие как:

1. Стандартные средства программирования МЭК 61131-3.
2. Стандарт OPC для связи с физическими устройствами.
3. Стандартные сетевые протоколы Ethernet, Modbus, Profibus, CAN и др.
4. Стандартный интерфейс ODBC для доступа к базам данных с языком запросов SQL.
5. Наиболее распространенные операционные системы (Windows XP/CE, Linux).
6. Веб-технологии.
7. Обмен данными с Microsoft Office.

Благодаря данному программному обеспечению мы получаем полную синхронизацию программных продуктов с оборудованием линии производства кефира.

После получения с видеодатчика для считывания Omron FZ-SC2M изображения бутылки с

маркировкой видеочамера анализирует это изображение, далее проводит его преобразование и оцифрование. Второй видеодатчик Omron FZ-SC2M служит для обнаружения объекта и проверки присутствия или отсутствия маркировки на бутылке. Третий видеодатчик Omron FZ-SC2M служит для распознавания положения бутылки кефира и поворотной ориентации, контроля размеров наклеенной маркировки и распознавание текста (включая даты истечения срока действия, коды заказа и т.д.). В корпус видеочамеры встроен блок управления и программное обеспечение.

Блок инспекции качества маркировки включает в себя такие элементы обработки изображения, как:

- а) исправление - фильтр, который преобразует изогнутую поверхность в плоскую;
- б) выправление цилиндра - только для асимметричных объектов;
- в) учет плеч бутылки;
- г) поддержка высокого разрешения;
- д) вращение, масштабирование;
- е) стежка нескольких изображений в одно;
- ж) компенсирование угла поворота бутылки;
- з) OCR/OCV - распознавание символов и текста маркировки;
- и) OCR_PRO+ - улучшенное распознавание символов;
- к) вращение предмета исследования.

Изучение объекта исследования (линии производства бутылок кефира с маркировкой) с последующим объединением изображений на линии

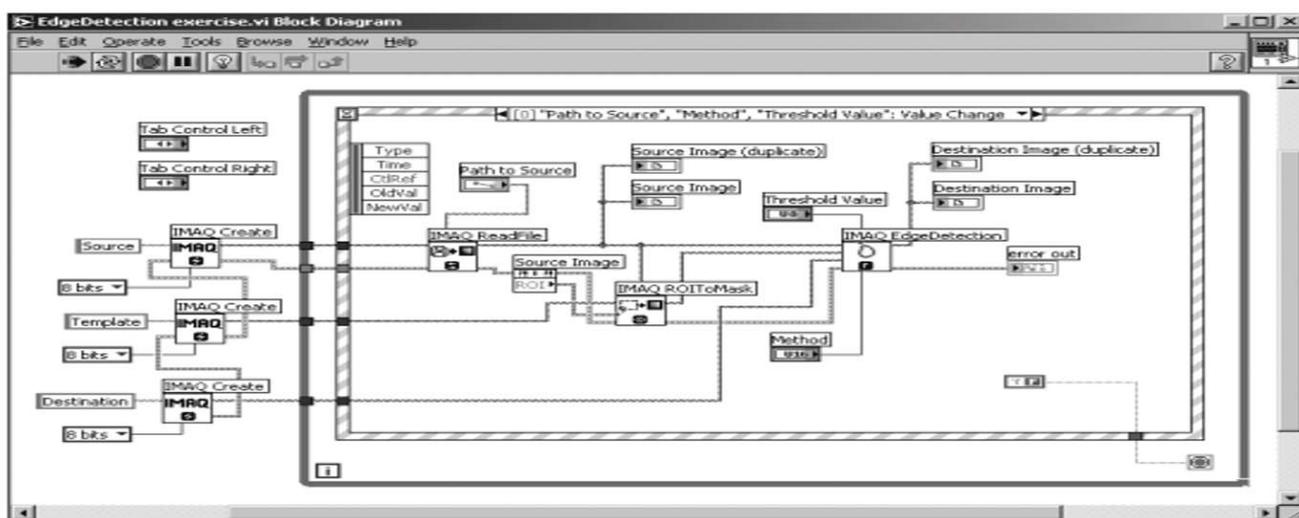


Рисунок 3. Настройка блока инспекции качества маркировки с помощью программного обеспечения Sysmac Studio Automation

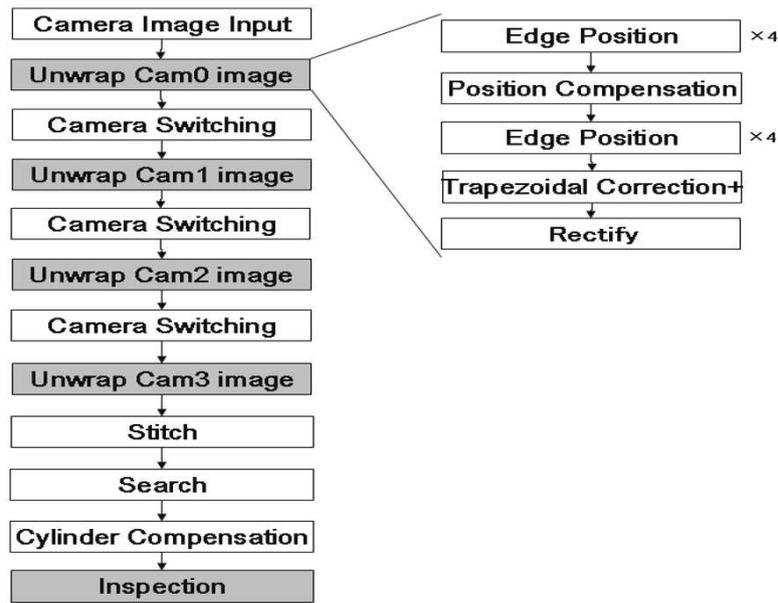


Рисунок 4. Алгоритм изучения объекта с последующим объединением изображений

производства ведется по следующему алгоритму (Рисунок 4):

Видеокамера анализирует изображение и передает информацию в систему управления, которая ее распознает и делает вывод о качестве маркировки, правильности ее положения, формы, цвета. Если на конвейере производства кефира находится бутылка с неправильной маркировкой или качество ее кода не соответствует должному уровню, то это изделие сразу же отбраковывается.

На Рисунке 5 показана линия производства кефира с установленной системой контроля качества маркировки. Датчик технического зрения

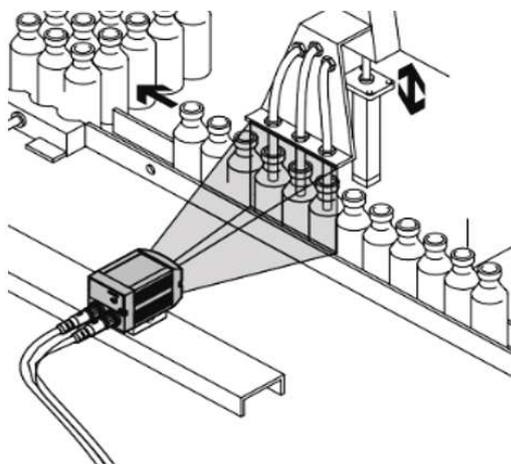


Рисунок 5. Линия производства кефира с установленной системой контроля качества маркировки

анализирует наличие и правильность расположения маркировки или этикетки и печатных надписей. Датчик технического зрения очень быстро проверяет эти критерии. Если какой-либо из них не соблюден, бутылка отбраковывается.

Для оптимизации получаемого изображения, сглаживания неровностей и его постепенного преобразования в цифровой вид необходимо на исследуемое изображение наложить пиксельную сетку (Рисунок 6).

При этом в первую очередь был осуществлен выбор размера пикселя и область накладывания сетки с установлением всех необходимых параметров (Таблица 1).

Таблица 1

Параметр	Установленное значение (заводское)	Содержание
Размер сетки	0 - 99999	Размер одного блока

Если установка сетки прошла успешно, то выводится развернутое выходное изображение (Рисунок 7).

Следующим пунктом является перевод цилиндрической формы бутылки в плоскую (Рисунок 8). Достигается это с помощью оценки пограничными камерами высоты и угла исходного изображения.

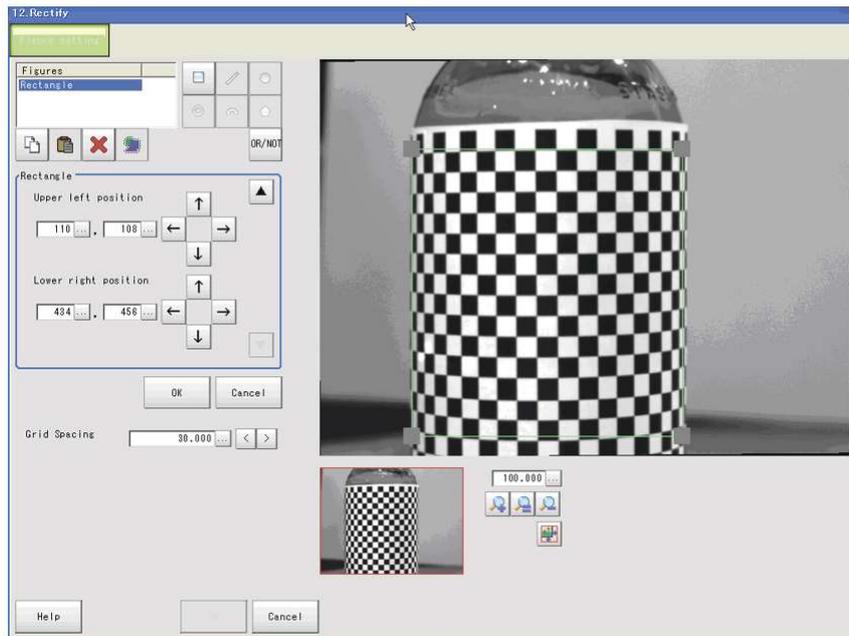


Рисунок 6. Оптимизация исследуемого изображения

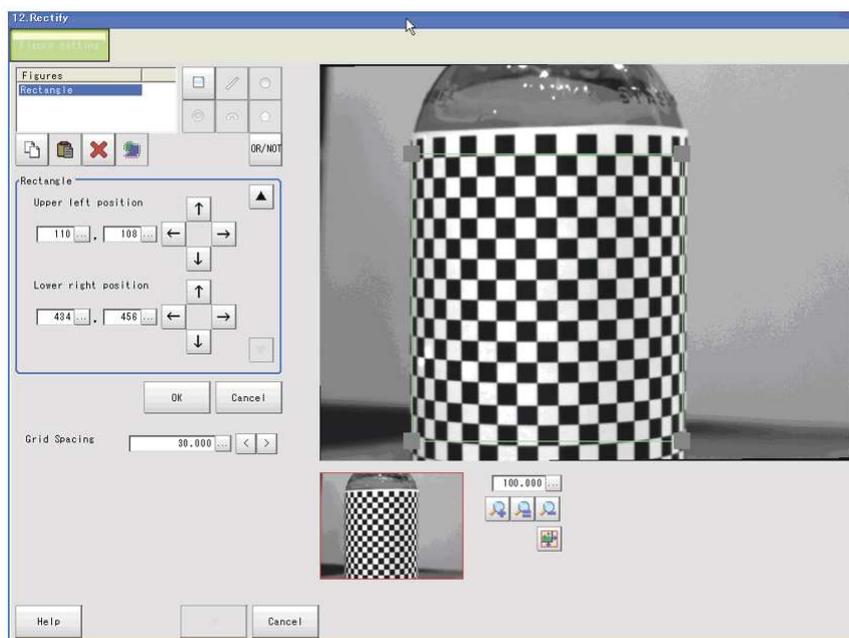


Рисунок 7. Развернутое выходное изображение сетки

Эти координаты могут быть получены по следующим параметрам:

- положение оси вращения входного изображения;
- положение камеры (расстояние, начальная высота).

При данном преобразовании мы получаем 2D изображение, идеально подходящее для исследования наличия погрешностей и дефектов на поверхности бутылки. Далее мы наносим распределительную сетку и регулируем изображение (Рисунок 9). С помощью этого мы можем избежать ошибок из-за цилиндрической формы объекта, а также привести изображение к общему масштабу.

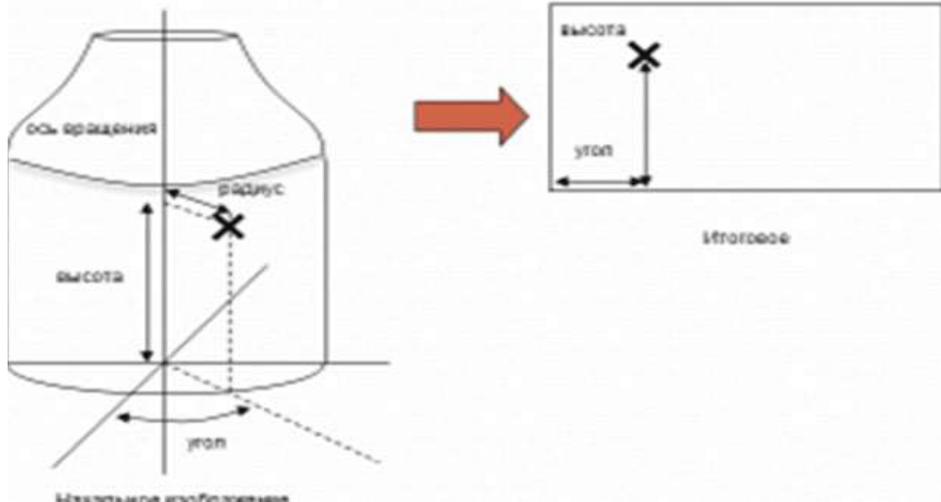


Рисунок 8. Перевод цилиндрической формы бутылки в плоскую

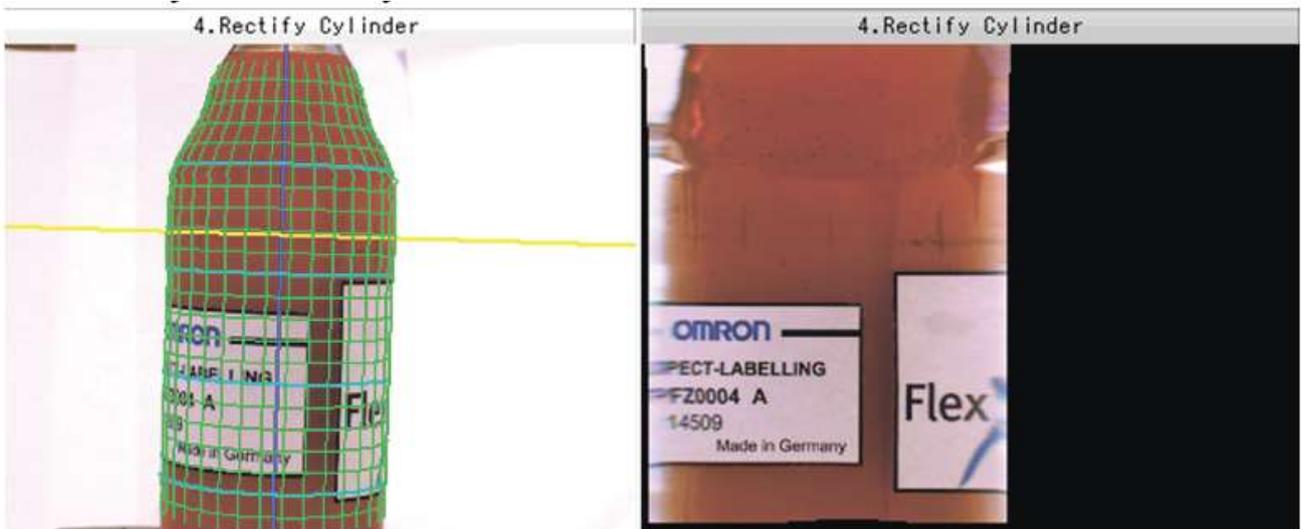


Рисунок 9. Исследование наличия погрешностей и дефектов на поверхности бутылки

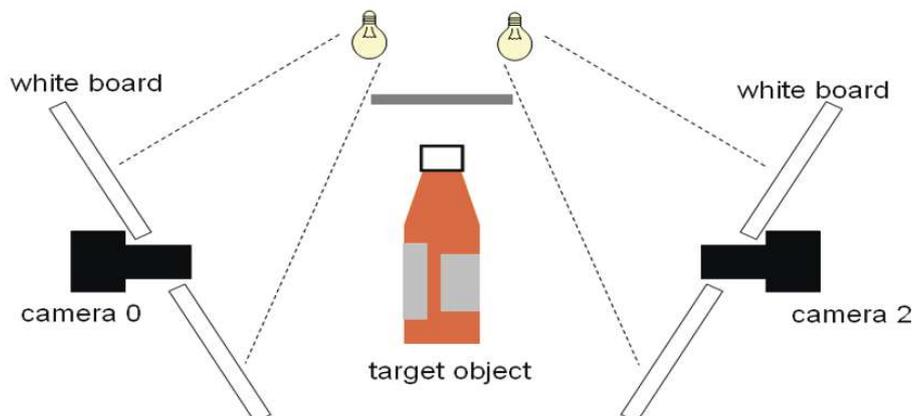


Рисунок 10. Пример расположения видеодатчиков в линии производства кефира

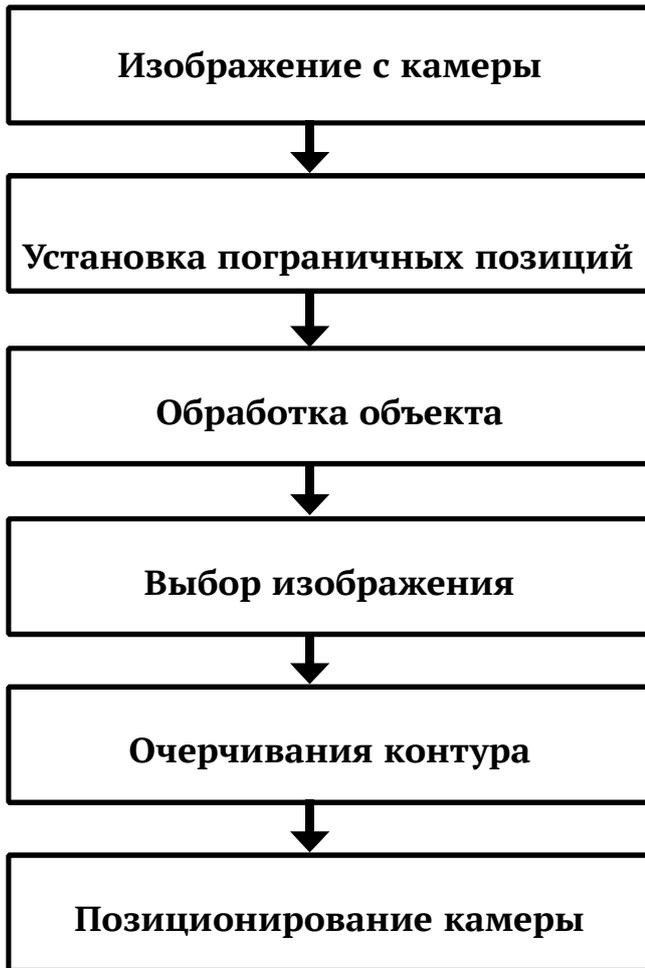


Рисунок 11. Блок схема алгоритма обработка изображения

При этом важное значение имеет расположение датчиков. При сканировании объекта нашей системой необходимо расположить датчики так чтобы фон был однородным.

Один из примеров расположения видеодатчиков в линии производства кефира представлена Рисунок 10:

Для каждой камеры нужно установить левый и правый край сканирования, а также выбрать блок обработки для обеих сторон. Таким образом происходит первичная обработка изображения. На Рисунок 11 представлена блок схема алгоритма обработка изображения.

Были проведены опыты для установления оптимального расстояния от видеочкамеры до исследуемого объекта (Рисунок 12).

После установки данных параметров полученные данные были использованы для оценки результата использования системы технического зрения при контроле качества маркировки готовой молочной продукции.

Результаты и их обсуждение

Обязательная маркировка молочной продукции началась только в 2021 году. Эта новая область, позволяющая сократить нелегальный оборот товаров в России и ЕАЭС. Обзор изученности проблемы показал, что в настоящее время пищевые предприятия только университета начали внедрять оборудование для маркировки. И связи с пищевыми предприятиями позволили нам выявить возникающие при этом проблемы. В данной статье показано, каким образом авторы предлагают решать возникающие при маркировке молочной продукции проблемы.

В результате проведенных исследований разработана система автоматизации контроля нанесения маркировки на изделия молочной промышленности, которая позволяет автоматически прямо на линии производства кефира провести инспекцию качества маркировки и механическую отбраковку продукции с нечитаемой этикеткой.

Представлена общая схема проведения исследований. Разработан блок инспекции качества маркировки, представлен его состав и показаны функциональные возможности блока. Разработано необходимое программное обеспечение данного блока.

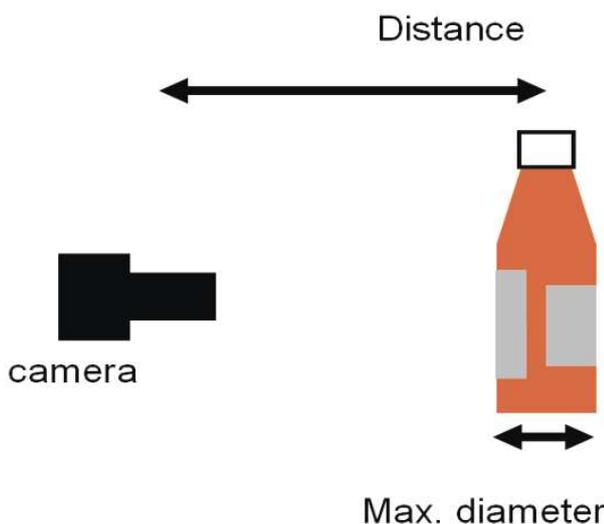


Рисунок 12. Исследования по установлению оптимального расстояния от видеочкамеры до исследуемого объекта

Проведен анализ возможности использования системы технического зрения для автоматической инспекции качества маркировки на бутылках кефира в процессе производства. Разработаны варианты оптимизации получаемого изображения объектов исследования, сглаживания их неровностей и постепенное преобразование сигналов от видеокамер в цифровой вид.

Приведен пример расположения видеодатчиков в линии производства кефира. Разработана блок-схема алгоритма обработки получаемых изображений.

Разработан алгоритм работы системы контроля качества маркировки, который дает возможность использовать данную разработку для других линий производства напитков.

Выводы

Таким образом, в статье рассмотрены и проанализированы существующие методы и средства маркировки. Показаны достоинства и недостатки существующих систем контроля. Проведенные исследования позволили проанализировать возможность использования систем технического зрения для автоматизации контроля качества маркировки молочной продукции. Представлена общая схема проведенных исследований. Были рассмотрены способы решения системой технического зрения следующих важных для автоматизации контроля качества маркировки задач: получение и классификация изображений, детектирование объектов (бутылок кефира); обработка полученного изображения и семантическая сегментация; сегментация экземпляров этикеток по полученным данным. Проведенные исследования позволили сделать вывод о перспективности использования для этих целей системы технического зрения. Предложен состав системы технического зрения. Выбран наиболее эффективный для решения поставленных задач алгоритм обработки полученного изображения. Представлен оптимальный тип камеры для решения поставленных задач. Дана характеристика разработанной системы автоматического контроля качества маркировки с указанием времени выдержки и времени проверки после трансформирования изображения. Представлены различные уровни изображения и рассмотрено их влияние на качество получаемого результата. Используя выбранный алгоритм, были проведены экспериментальные исследования по сканированию объекта системой технического зрения. Осуществлен выбор оптимального расположения видеодатчиков.

Разработан блок обработки входного изображения и сканирования пограничных установок для обеих сторон объекта сканирования. В результате проведенных исследований в статье делается вывод о перспективности внедрения цифровой системы автоматического контроля качества маркировки молочной продукции на базе использования системы технического зрения.

Литература

- Андреева, Л. В. (2019). Правовое регулирование маркировки товаров средствами идентификации в электронной форме. *Юрист*, 3, 20-27. <https://doi.org/10.18572/1812-3929-2019-3-20-27>
- Архипов, П. О. (2003). *Исследование методов и средств автоматизации процесса маркировки информации в производственном документообороте* [Кандидатская диссертация, Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева]. Орел, Россия.
- Астафьев, А. В. (2015). *Методы и алгоритмы локализации изображений маркировки промышленных изделий на основе рекуррентного поиска усредненного максимума* [Кандидатская диссертация, Новосибирский государственный технический университет]. Новосибирск, Россия.
- Бальхин, М. Г., Благовещенская, М. М., Благовещенский, И. Г., Макаровская, З. В., & Назойкин, Е. А. (2019). Автоматизация вакуумной сублимационной сушки продукции с использованием метода комбинированного управления. *Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности*, 2, 133-137.
- Бальхин, М. Г., Борзов, А. Б., & Благовещенский, И. Г. (2017). Архитектура и основная концепция создания интеллектуальной экспертной системы контроля качества пищевой продукции. *Пищевая промышленность*, 11, 60-63.
- Бальхин, М. Г., Борзов, А. Б., & Благовещенский, И. Г. (2017). *Методологические основы создания экспертных систем контроля и прогнозирования качества пищевой продукции с использованием интеллектуальных технологий*. М.: Франтера.
- Безруков, В. И. (2003). *Научно-технические основы и аппаратное обеспечение автоматизированной электрокаплеструйной маркировки изделий* [Кандидатская диссертация, Санкт-Петербургский государственный политехнический университет]. СПб., Россия.
- Благовещенская, М. М. (2009). *Основы стабилизации процессов приготовления многокомпонентных пищевых масс*. М.: Франтера.

- Благовещенская, М. М., & Злобин, Л. А. (2005). *Информационные технологии систем управления технологическими процессами*. М.: Высшая школа.
- Благовещенский, В. Г., Благовещенский, И. Г., Назойкин, Е. А., & Носенко, А. С. (2016). Автоматизация процесса очистки семян подсолнечника при производстве халвы. В *Автоматизация и управление технологическими и бизнес-процессами в пищевой промышленности: Сборник научных докладов II Международной научно-практической конференции* (с. 58-62). М.: Московский государственный университет пищевых производств.
- Благовещенский, В. Г., Благовещенский, И. Г., Назойкин, Е. А., & Савельев, В. О. (2016). Разработка структурно-параметрической модели процесса приготовления помадного сиропа при производстве халвы. В *Автоматизация и управление технологическими и бизнес-процессами в пищевой промышленности: Сборник научных докладов II Международной научно-практической конференции* (с. 86-91). М.: Московский государственный университет пищевых производств.
- Благовещенский, В. Г., & Никитушкина, М. Ю. (2017). Автоматизация процесса приготовления помадного сиропа. В *Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: Кадры и наука: Научная конференция с международным участием* (с. 202-205). М.: Московский государственный университет пищевых производств.
- Благовещенский, В. Г., Крылова, Л. А., & Максимов А. С. (2017). Разработка программно-аппаратного комплекса мониторинга производства халвы. В *Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: Кадры и наука: Научная конференция с международным участием* (с. 196-199). М.: Московский государственный университет пищевых производств.
- Благовещенский, И. Г. (2017). *Автоматизированная экспертная система контроля в потоке показателей качества помадных конфет с использованием нейросетевых технологий и систем компьютерного зрения*. М.: Франтера.
- Благовещенский, И. Г., Макаровская, З. В., Благовещенская, М. М., Чувахин, С. В., & Митин, В. В. (2019). Использование цифровой видеокамеры в качестве интеллектуального датчика системы автоматического регулирования процесса формирования гранулированных пищевых масс. В *Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности: Сборник материалов конференции* (с. 71-75). М.: Московский государственный университет пищевых производств.
- Благовещенский, И. Г., & Носенко, С. М. (2015). Экспертная интеллектуальная система мониторинга процесса формирования помадных конфет с использованием системы технического зрения. *Пищевая промышленность*, 6, 32-36.
- Гарев, К. В., Благовещенский, И. Г., Назойкин, Е. А., Благовещенский, В. Г., & Макаровская, З. В. (2019). Использование технического зрения в качестве инновационного решения в системах «умного дома». В *Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности: Сборник материалов конференции* (с. 47-52). М.: Московский государственный университет пищевых производств.
- Гончаров, К. А., Благовещенский И.Г., Назойкин Е. А., Благовещенский В.Г., Макаровская З. В. (2019). Использование библиотеки OPENCV для работы с техническим зрением. В *Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности: Сборник материалов конференции* (с. 53-60). М.: Московский государственный университет пищевых производств.
- Жмакин, М. О. (2011). *Математическое моделирование средств маркировки и идентификации полиграфической продукции с использованием стеганографии* [Кандидатская диссертация, Московский инженерно-физический институт]. М., Россия.
- Золотухин, М. (1998). Защита от подделки - старая проблема, новые решения. *КомпьютерПресс*, 6, 294-296.
- Карелина, Е. Б., Благовещенская, М. М., Благовещенский, В. Г., Клехо, Д. Ю., & Благовещенский, И. Г. (2019). Интеграция адаптивного управления в технологические процессы пищевой отрасли. В *Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности: Сборник материалов конференции* (с. 81-89). М.: Московский государственный университет пищевых производств.
- Карякин, Ю. Д. (2000). *Компьютерные технологии защиты материальных объектов от подделки. Компьютерная и информационная безопасность*. Минск: АРИЛ.
- Крылова, Л. А., Благовещенский, В. Г., & Татаринцов, А. В. (2017). Разработка интеллектуальных аппаратно-программных комплексов мониторинга процессов сепарирования дисперсных пищевых масс на основе интеллектуальных технологий. В *Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: Кадры и наука: Научная конференция с международным участием* (с. 199-201). М.: Московский государственный университет пищевых производств.
- Мартиросова, Е. (1998). Уникальные технологии и оборудование для защиты документов от подделок. *Полиграфия*, 5, 64-66.
- Одинокоев, С. Б. (2011). *Разработка методов и оптико-электронных приборов автоматического контроля подлинности защитных голограмм со*

- скрытыми изображениями [Докторская диссертация, Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана]. М., Россия.
- Петров, А. Ю., Благовещенская, М. М., Благовещенский, В. Г., Ионов, А. В., & Благовещенский, И. Г. (2019). Главные принципы при построении системы компьютерного зрения в хлебопекарной промышленности. В *Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности: Сборник материалов конференции* (с. 121-126). М.: Московский государственный университет пищевых производств.
- Петряков, А. Н., Благовещенская, М. М., Благовещенский, В. Г., Митин, В. В., & Благовещенский, И. Г. (2019). Повышение качества идентификации и позиционирования объекта на цифровых стерео изображениях при помощи алгоритмов построения карты глубины. В *Интеллектуальные системы и технологии в отраслях пищевой промышленности: Сборник материалов конференции* (с. 133-138). М.: Московский государственный университет пищевых производств.
- Поднебесных, В. А., & Мамонова, Н. В. (2020). Кефир - эликсир здоровья. *Юный ученый*, 1, 25-29.
- Провоторов, А. В. (2014). *Алгоритмы двухуровневого управления видеодатчиками системы автоматической идентификации маркировки слябов* [Кандидатская диссертация, Орловский государственный университет]. Орел, Россия.
- Птицын, Н. В. (2006). *Алгоритмический метод защиты и идентификации маркированных печатных документов* [Кандидатская диссертация, Московский инженерно-физический институт]. М., Россия.
- Рябов, А. И., & Штерензон, В. А. (2021). Автоматизированная система учета готовой маркированной продукции. *Инновации. Наука. Образование*, 38, 605-617.
- Савостин, С. Д., Благовещенская, М. М., & Благовещенский, И. Г. (2016). *Автоматизация контроля показателей качества муки в процессе размола с использованием интеллектуальных технологий*. М.: Франтера.
- Сергеев, И. В. (2020). Возрастание роли цифровой маркировки для обеспечения прослеживаемости цепей поставок. *Логистика*, 4, 24-30.
- Тихонова, О. Ю., & Котова, Т. В. (2020). Маркировка пищевой продукции, как фактор обособленного выбора. В *Актуальные проблемы науки и техники: Сборник трудов по материалам II Международного конкурса научно-исследовательских работ* (с. 20-29). Уфа: Уфимский государственный нефтяной технический университет.
- Хамед, Э. М. Т., Благовещенский, И. Г., Благовещенский, В. Г., & Зубов, Д. В. (2020). Контроль качества маркировки пищевых продуктов с использованием интеллектуальных технологий. *Health, Food & Biotechnology*, 2(1), 112-127. <https://doi.org/10.36107/hfb.2020.i1.s295>
- Черненко, В. М., & Птицын, Н. В. (2005). Гибридной метод непараметрической нечёткой классификации в распознавании образов. *Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Приборостроение*, 3, 49-58.
- Чернов, Т. С. (2018). *Математические модели и алгоритмы оценки качества изображений в системах оптического распознавания* [Кандидатская диссертация, Московский инженерно-физический институт]. М., Россия.
- Anagnostopoulos, C. N., Loumos, V., & Kayafas, E. A. (2009). License plate recognition algorithm for Intelligent Transport applications. *Institute of Electrical and Electronics Engineers Transaction on Intelligent Transport Systems*, 7(3), 377-392. <https://doi.org/10.1109/TITS.2006.880641>
- Aluze, D., Merienne, F., Dumont, C., & Gorria, P. (2002). Vision system for defect imaging, detection, and characterization on a specular surface of a 3D object. *Image Vision Comput*, 20(8), 569-580. [https://doi.org/10.1016/S0262-8856\(02\)00046-X](https://doi.org/10.1016/S0262-8856(02)00046-X)
- Angella, F., Reithler, L., & Gallesio, F. (2007). Optimal Deployment of Cameras for Video Surveillance Systems / F. Angella, L. Reithler, F. Gallesio. In *Institute of Electrical and Electronics Engineers: Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance* (Article 9824583). London, UK.
- Bien, Z., Oh, S.-R., & Won, J. (2009). Development of a well structured industrial vision system. In *Proceedings of 16th annual Institute of Electrical and Electronics Engineers conference of the industrial electronics society* (pp. 501-506). London, UK. <https://doi.org/10.1109/IECON.1990.149191>
- Chen, I.-H., & Wang, S. J. (2006). Efficient vision-based calibration for visual surveillance systems with multiple PTZ cameras. In *Institute of Electrical and Electronics Engineers Intel conference on computer vision systems*. <https://doi.org/10.1109/ICVS.2006.22>
- Nikolskaya, E. Yu., Pasko, O. V., Anikina, E. N., Dekhtyar, G. M., & Lebedev, K. A. (2019). The hotel sector as an important component of regional economic infrastructure. *Journal of Environmental Management and Tourism*, 9(6), 1178-1182. [https://doi.org/10.14505/jemt.v9.6\(30\).06](https://doi.org/10.14505/jemt.v9.6(30).06)
- Pasco, O., Suvorova, I. N., Suvorov, O. A., & Krylova, L. A. (2018). Key options of ecological hospitality development. In *5th International Multidisciplinary Scientific Conference on Social Sciences and Arts SGEM 2018* (pp. 473-478). Moscow: Moscow State University of Food Production. <https://doi.org/10.5593/sgemsocial2018/1.4/S04.061>

Assessment of the Possibility of Using the System Technical Vision for Marking Control Finished Dairy Products

Maxim Yu. Muzyka

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: muzyka@mgupp.ru*

Margarita M. Blagoveshchenskaya

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: mmb@mgupp.ru*

Ivan G. Blagoveshchensky

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: igblagov@mgupp.ru*

Alexander M. Adnodvortsev

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: adnodvortsev@yandex.ru*

Vladislav G. Blagoveshchensky

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: bvg1996@mail.ru*

Alexey V. Buneev

*Omron Electronics LLC
26, Pravdi str., Moscow, 125040, Russian Federation
E-mail: alexey.buneev@eu.omron.com*

In modern production processes, the labor intensity of marking operations is a significant share. Practically, the entire range of food products is subject to labeling. The article emphasizes the ever-growing complexity of quality control of manufactured food products and their multiple falsification. Existing methods and means of marking are considered and analyzed. The advantages and disadvantages of existing systems are shown. The article analyzes the possibility of using vision systems to automate the quality control of dairy products labeling. The general scheme of research is given. The solution of the following tasks by the technical vision system was considered: obtaining and classifying images, detecting objects (bottles of kefir); processing of the received image and semantic segmentation; segmentation of etiquette instances according to the received data. The conducted studies allowed us to conclude that it is promising to use a vision system for these purposes. The composition of the technical vision system is presented. The most effective algorithm for processing the resulting image for solving the tasks was chosen. The optimal type of camera is proposed, the characteristics of the developed system for automatic quality control of marking are given, indicating the exposure time and the verification time after image transformation. Various image levels are presented and their influence on the quality of the result obtained is considered. Using the selected algorithm, experimental studies were carried out on scanning an object with a vision system. the choice of the optimal location of the video sensors was made. A block for processing the input image and scanning boundary settings for both sides of the scanned object has

been developed. As a result of the research, the article concludes that it is promising to introduce a digital system for automatic quality control of dairy products labeling based on the use of a vision system.

Key words: labeling, finished dairy products, quality control automation, vision system

References

- Andreeva, L. V. (2019). Pravovoe regulirovanie markirovki tovarov sredstvami identi-fikatsii v elektronnoi forme [Legal regulation of marking of goods by means of identification in electronic form]. *Yurist [Lawyer]*, 3, 20-27. <https://doi.org/10.18572/1812-3929-2019-3-20-27>
- Arkhipov, P. O. (2003). *Issledovanie metodov i sredstv avtomatizatsii protsessa marki-rovki informatsii v proizvodstvennom dokumentooborote* [Research of methods and means of automation of the process of marking information in the production workflow] [Candidate Dissertation, Orlovskii gosudarstvennyi universitet imeni I. S. Turgeneva]. Orel, Russia.
- Astaf'ev, A. V. (2015). *Metody i algoritmy lokalizatsii izobrazhenii markirovki pro-myshlennykh izdelii na osnove rekurrentnogo poiska usrednenno-go maksimuma* [Methods and algorithms for localization of industrial product labeling images based on recurrent average maximum search] [Candidate Dissertation, Novosibirskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet]. Novosibirsk, Russia.
- Balykhin, M. G., Blagoveshchenskaya, M. M., Blagoveshchenskii, I. G., Makarovskaya, Z. V., & Nazoikin, E. A. (2019). Avtomatizatsiya vakuumnoi sublimatsionnoi sushki pro-duktsii s ispol'zovaniem metoda kombinirovannogo upravleniya [Automation of vacuum freeze drying of products using the combined control method]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Tekhnologiya tekstil'noi promyshlennosti* [News of Higher Educational Institutions. Textile Industry Technology], 2, 133-137.
- Balykhin, M. G., Borzov, A. B., & Blagoveshchenskii, I. G. (2017). Arkhitektura i osnovnaya kontseptsiya sozdaniya intellektual'noi ekspertnoi sistemy kontrolya kachestva pi-shchevoi produkt-sii [Architecture and the basic concept of creating an intelligent expert food quality control system]. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food Industry], 11, 60-63.
- Balykhin, M. G., Borzov, A. B., & Blagoveshchenskii, I. G. (2017). *Metodologicheskie osnovy sozdaniya ekspertnykh sistem kontrolya i prognozirovaniya kachestva pishchevoi pro-duktsii s ispol'zovaniem intellektual'nykh tekhnologii* [Methodological foundations for the creation of expert systems for monitoring and forecasting the quality of food products using intelligent technologies]. Moscow: Frantera.
- Bezrukov, V. I. (2003). *Nauchno-tekhnicheskie osnovy i apparatnoe obespechenie avtomati-zirovannoi elektrokaplestruinoi markirovki izdelii* [Scientific and technical bases and hardware of automated electroplating marking of products] [Candidate Dissertation, S-Petersburg gosudarstvennyi politekhnicheskii universitet]. S-Petersburg, Russia.
- Blagoveshchenskaya, M. M. (2009). *Osnovy stabilizatsii protsessov prigotovleniya mnogokom-ponentnykh pishchevykh mass* [Fundamentals of stabilization of the processes of preparation of multicomponent food masses]. Moscow: Frantera.
- Blagoveshchenskaya, M. M., & Zlobin, L. A. (2005). *Informatsionnye tekhnologii sistem upravleniya tekhnologicheskimi protsessami* [Information technologies of process control systems]. Moscow: Vysshaya shkola.
- Blagoveshchenskii, I. G. (2017). *Avtomatizirovannaya ekspertnaya sistema kontrolya v po-toke pokazatelei kachestva pomadnykh konfet s ispol'zovaniem neirosetevykh tekhnologii i sistem komp'yuternogo zreniya* [Automated expert control system in the flow of indicators of the quality of fondant candies using neural network technologies and computer vision systems]. Moscow: Frantera.
- Blagoveshchenskii, I. G., & Nosenko, S. M. (2015). Ekspertnaya intellektual'naya sistema monitoringa protsessa formovaniya pomadnykh konfet s ispol'zovaniem sistemy tekhnicheskogo zreniya [Expert intelligent system for monitoring the process of forming fondant candies using a vision system]. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food Industry], 6, 32-36.
- Blagoveshchenskii, I. G., Makarovskaya, Z. V., Blagoveshchenskaya, M. M., Chuvakhin, S. V., & Mitin, V. V. (2019). Ispol'zovanie tsifrovoi videokamery v kachestve intellektual'nogo datchika sistemy avtomaticheskogo regulirovaniya protsessu formovaniya granulirovannykh pishchevykh mass [The use of a digital video camera as an intelligent sensor of the automatic control system for the molding process of granular food masses]. In *Intellektual'nye sistemy i tekhnologii v otraslyakh pishchevoi promyshlennosti: Sbornik materialov konferentsii* [Intelligent systems and technologies in the food industry: A collection of conference materials] (pp. 71-75). Moscow: Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv.
- Blagoveshchenskii, V. G., & Nikitushkina, M. Yu. (2017). Avtomatizatsiya protsessu prigotovleniya pomadnogo siropa [Automation of the process of

- making fondant syrup]. In *Razvitie pishchevoi i pererabatyvayushchei promyshlennosti Rossii: Kadry i nauka: Nauchnaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem [Development of the food and processing industry in Russia: Personnel and Science: Scientific conference with international participation]* (pp. 202-205). Moscow: Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv.
- Blagoveshchenskii, V. G., Blagoveshchenskii, I. G., Nazoikin, E. A., & Nosenko, A. S. (2016). Avtomatizatsiya protsessa ochistki semyan podsolnechnika pri proizvodstve khalvy [Automation of the sunflower seed cleaning process in the production of halva]. In *Avtomatizatsiya i upravlenie tekhnologicheskimi i biznes-protsessami v pishchevoi promyshlennosti: Sbornik nauchnykh dokladov II Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [Automation and management of technological and business processes in the food industry: Collection of scientific reports of the 2nd International Scientific and Practical Conference]* (pp. 58-62). Moscow: Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv.
- Blagoveshchenskii, V. G., Blagoveshchenskii, I. G., Nazoikin, E. A., & Savel'ev, V. O. (2016). Razrabotka strukturno-parametricheskoi modeli protsessa prigotovleniya pomadno-go siropa pri proizvodstve khalvy [Development of a structural-parametric model of the process of making fondant syrup in the production of halva]. In *Avtomatizatsiya i upravlenie tekhnologicheskimi i biznes-protsessami v pishchevoi promyshlennosti: Sbornik nauchnykh dokladov II Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [Automation and management of technological and business processes in the food industry: Collection of scientific reports of the 2nd International Scientific and Practical Conference]* (pp. 86-91). Moscow: Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv.
- Blagoveshchenskii, V. G., Krylova, L. A., & Maksimov A. S. (2017). Razrabotka programmno-apparatnogo kompleksa monitoringa proizvodstva khalvy [Development of a hardware and software complex for monitoring halva production]. In *Razvitie pishchevoi i pererabatyvayushchei promyshlennosti Rossii: Kadry i nauka: Nauchnaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem [Development of the food and processing industry in Russia: Personnel and Science: Scientific conference with international participation]* (pp. 196-199). Moscow: Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv.
- Chernen'kii, V. M., & Ptitsyn, N. V. (2005). Gibridnoi metod neparametricheskoi nechet-koi klassifikatsii v raspoznavanii obrazov [Hybrid method of nonparametric fuzzy classification in pattern recognition]. *Vestnik MGTU im. N. E. Baumana. Priborostroenie [Bulletin of the Bauman Moscow State Technical University. Instrumentation]*, 3, 49-58.
- Chernov, T. S. (2018). *Matematicheskie modeli i algoritmy otsenki kachestva izobrazhenii v sistemakh opticheskogo raspoznavaniya [Mathematical models and algorithms for image quality assessment in optical recognition systems]* [Candidate Dissertation, Moskovskii inzhenerno-fizicheskii institut]. Moscow, Russia.
- Garev, K. V., Blagoveshchenskii, I. G., Nazoikin, E. A., Blagoveshchenskii, V. G., & Makarov-skaya, Z. V. (2019). Ispol'zovanie tekhnicheskogo zreniya v kachestve innovatsionnogo resheniya v sistemakh "umnogo doma" [Using technical vision as an innovative solution in smart "home systems"]. In *Intellektual'nye sistemy i tekhnologii v otraslyakh pishchevoi promyshlennosti: Sbornik materialov konferentsii [Intelligent systems and technologies in the food industry: A collection of conference materials]* (pp. 47-52). Moscow: Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv.
- Goncharov, K. A., Blagoveshchenskii I. G., Nazoikin E. A., Blagoveshchenskii V.G., Makarov-skaya Z. V. (2019). Ispol'zovanie biblioteki OPENCV dlya raboty s tekhnicheskim zreniem [Using the OPENCV library to work with technical vision]. In *Intellektual'nye sistemy i tekhnologii v otraslyakh pishchevoi promyshlennosti: Sbornik materialov konferentsii [Intelligent systems and technologies in the food industry: A collection of conference materials]* (pp. 53-60). Moscow: Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv.
- Karelina, E. B., Blagoveshchenskaya, M. M., Blagoveshchenskii, V. G., Klekho, D. Yu., & Blagoveshchenskii, I. G. (2019). Integratsiya adaptivnogo upravleniya v tekhnologicheskie protsessy pishchevoi otrasli [Integration of adaptive management into technological processes of the food industry]. In *Intellektual'nye sistemy i tekhnologii v otraslyakh pishchevoi promyshlennosti: Sbornik materialov konferentsii [Intelligent systems and technologies in the food industry: A collection of conference materials]* (pp. 81-89). Moscow: Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv.
- Karyakin, Yu. D. (2000). *Komp'yuternye tekhnologii zashchity material'nykh ob'ektov ot poddelki. Komp'yuternaya i informatsionnaya bezopasnost' [Computer technologies for the protection of material objects from forgery. Computer and information security]*. Minsk: ARIL.
- Khamed, E. M. T., Blagoveshchenskii, I. G., Blagoveshchenskii, V. G., & Zubov, D. V. (2020). Kontrol' kachestva markirovki pishchevykh produktov s ispol'zovaniem intellektual'nykh tekhnologii

- [Quality control of food labeling using intelligent technologies]. *Health, Food & Biotechnology*, 2(1), 112-127. <https://doi.org/10.36107/hfb.2020.i1.s295>
- Krylova, L. A., Blagoveshchenskii, V. G., & Tatarinov, A. V. (2017). Razrabotka intellektual'nykh apparatno-programmnykh kompleksov monitoringa protsessov separirovaniya dispersnykh pishchevykh mass na osnove intellektual'nykh tekhnologii [Development of intelligent hardware and software systems for monitoring the processes of separation of dispersed food masses based on intelligent technologies]. In *Razvi-tie pishchevoi i pererabatyvayushchei promyshlennosti Rossii: Kadry i nauka: Na-uchnaya konferentsiya s mezhdunarodnym uchastiem [Development of the food and processing industry in Russia: Personnel and Science: Scientific conference with international participation]* (pp. 199-201). Moscow: Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv.
- Martirosova, E. (1998). Unikal'nye tekhnologii i oborudovanie dlya zashchity dokumentov ot poddelok [Unique technologies and equipment to protect documents from forgery]. *Poligrafiya [Polygraphy]*, 5, 64-66.
- Odinokov, S. B. (2011). *Razrabotka metodov i optiko-elektronnykh priborov avtomaticheskogo kontrolya podlinnosti zashchitnykh hologramm so skrytymi izobrazheniyami [Development of methods and optoelectronic devices for automatic verification of the authenticity of protective holograms with hidden images]* [Doctoral Dissertation, Moskovskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet im. N. E. Baumana]. Moscow, Russia.
- Petrov, A. Yu., Blagoveshchenskaya, M. M., Blagoveshchenskii, V. G., Ionov, A. V., & Blagoveshchenskii, I. G. (2019). Glavnye printsipy pri postroenii sistemy komp'yuternogo zreniya v khlebopekarnoi promyshlennosti [The main principles in the construction of a computer vision system in the bakery industry]. In *Intellektual'nye sistemy i tekhnologii v otraslyakh pishchevoi promyshlennosti: Sbornik materialov konferentsii [Intelligent systems and technologies in the food industry: A collection of conference materials]* (pp. 121-126). Moscow: Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv.
- Petryakov, A. N., Blagoveshchenskaya, M. M., Blagoveshchenskii, V. G., Mitin, V. V., & Blagoveshchenskii, I. G. (2019). Povyshenie kachestva identifikatsii i pozitsionirovaniya ob'ekta na tsifrovyykh stereo izobrazheniyakh pri pomoshchi algoritmov postroeniya karty glubiny [Improving the quality of object identification and positioning on digital stereo images using depth map algorithms]. In *Intellektual'nye sistemy i tekhnologii v otraslyakh pishchevoi promyshlennosti: Sbornik materialov konferentsii [Intelligent systems and technologies in the food industry: A collection of conference materials]* (pp. 133-138). Moscow: Moskovskii gosudarstvennyi universitet pishchevykh proizvodstv.
- Podnebesnykh, V. A., & Mamonova, N. V. (2020). Kefir - eliksir zdorov'ya [Kefir is an elixir of health]. *Yunyi uchenyi [Young Scientist]*, 1, 25-29.
- Provotorov, A. V. (2014). *Algoritmy dvukhurovnevo-go upravleniya videodatchikami siste-my avtomaticheskoi identifikatsii markirovki slyabov [Algorithms of two-level control of video sensors of the system of automatic identification of slabs marking]* [Candidate Dissertation, Orlovskii gosudarstvennyi universitet]. Orel, Russia.
- Ptitsyn, N. V. (2006). *Algoritmicheskii metod zashchity i identifikatsii markirovannykh pechatnykh dokumentov [Algorithmic method of protection and identification of marked printed documents]* [Candidate Dissertation, Moskovskii inzhenerno-fizicheskii institut]. Moscow, Russia.
- Ryabov, A. I., & Shterenzon, V. A. (2021). Avtomatizirovannaya sistema ucheta gotovoi markirovannoi produktsii [Automated accounting system for finished labeled products]. *Innovatsii. Nauka. Obrazovanie [Innovation. The science. Education]*, 38, 605-617.
- Savostin, S. D., Blagoveshchenskaya, M. M., & Blagoveshchenskii, I. G. (2016). *Avtomatizatsiya kontrolya pokazatelei kachestva muki v protsesse razmola s ispol'zovaniem intel'lektual'nykh tekhnologii [Automation of flour quality control in the grinding process using intelligent technologies]*. Moscow: Frantera.
- Sergeev, I. V. (2020). Vozrastanie roli tsifrovoy markirovki dlya obespecheniya prosle-zhivaemosti tsepei postavok [The increasing role of digital labeling to ensure traceability of supply chains]. *Logistika [Logistics]*, 4, 24-30.
- Tikhonova, O. Yu., & Kotova, T. V. (2020). Markirovka pishchevoi produktsii, kak faktor obosnovannogo vybora [Labeling of food products as a factor of informed choice]. In *Aktual'nye problemy nauki i tekhniki: Sbornik trudov po materialam II Mezhdunarodnogo konkursa nauchno-issledovatel'skikh rabot [Actual problems of science and technology: A collection of works based on the materials of the 2nd International Competition of scientific research works]* (pp. 20-29). Ufa: Ufimskii gosudarstvennyi neftyanoi tekhnicheskii universitet.
- Zhmakin, M. O. (2011). *Matematicheskoe modelirovanie sredstv markirovki i identifikatsii poligraficheskoi produktsii s ispol'zovaniem steganografii [Mathematical modeling of means of marking and identification of printed products using steganography]* [Candidate Dissertation, Moskovskii inzhenerno-fizicheskii institut]. Moscow, Russia.

- Zolotukhin, M. (1998). Zashchita ot poddelki - staraya problema, novye resheniya [Protection against counterfeiting - an old problem, new solutions]. *Komp'yu-terPress [ComputerPress]*, 6, 294-296.
- Anagnostopoulos, C. N., Loumos, V., & Kayafas, E. A. (2009). License plate recognition algorithm for Intelligent Transport applications. *Institute of Electrical and Electronics Engineers Transaction on Intelligent Transport Systems*, 7(3), 377-392. <https://doi.org/10.1109/TITS.2006.880641>
- Aluze, D., Merienne, F., Dumont, C., & Gorria, P. (2002). Vision system for defect imaging, detection, and characterization on a specular surface of a 3D object. *Image Vision Comput*, 20(8), 569-580. [https://doi.org/10.1016/S0262-8856\(02\)00046-X](https://doi.org/10.1016/S0262-8856(02)00046-X)
- Angella, F., Reithler, L., & Gallesio, F. (2007). Optimal Deployment of Cameras for Video Surveillance Systems / F. Angella, L. Reithler, F. Gallesio. In *Institute of Electrical and Electronics Engineers: Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance* (Article 9824583). London, UK.
- Bien, Z., Oh, S.-R., & Won, J. (2009). Development of a well structured industrial vision system. In *Proceedings of 16th annual Institute of Electrical and Electronics Engineers conference of the industrial electronics society* (pp. 501-506). London, UK. <https://doi.org/10.1109/IECON.1990.149191>
- Chen, I.-H., & Wang, S. J. (2006). Efficient vision-based calibration for visual surveillance systems with multiple PTZ cameras. In *Institute of Electrical and Electronics Engineers Intel conference on computer vision systems*. <https://doi.org/10.1109/ICVS.2006.22>
- Nikolskaya, E. Yu., Pasko, O. V., Anikina, E. N., Dekhtyar, G. M., & Lebedev, K. A. (2019). The hotel sector as an important component of regional economic infrastructure. *Journal of Environmental Management and Tourism*, 9(6), 1178-1182. [https://doi.org/10.14505/jemt.v9.6\(30\).06](https://doi.org/10.14505/jemt.v9.6(30).06)
- Pasco, O., Suvorova, I. N., Suvorov, O. A., & Krylova, L. A. (2018). Key options of ecological hospitality development. In *5th International Multidisciplinary Scientific Conference on Social Sciences and Arts SGEM 2018* (pp. 473-478). Moscow: Moscow State University of Food Production. <https://doi.org/10.5593/sgem-social2018/1.4/S04.061>