

№4 2020

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 – 2020

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 20.03.2020. Свободная цена.

© Ф.Б.У ВО «Московский государственный университет пищевых производств», 2020

SPFP

Theoretical and Research & Practice Journal

№ 4 – 2020

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 20.03.2020. Free price.

© F.B.I HE «Moscow State University of Food Production», 2020

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. Могилевский государственный университет продовольствия, mgur@mogilev.by
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, niimmp@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@gosniihp.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, var@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», tvi@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	Honoured Inventor of the Republic of Belarus, Doctor of Technical Sciences, Professor. Mogilev State University of Food Technologies, mgup@mogilev.by
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

Теоретические аспекты хранения и переработки сельхозпродукции

- Лисицын А.Н., Марков В.Н., Григорьева В.Н., Тагиев Ш.К., Ефимов А.В.
Изменение природной локализации масла в семенах как показатель их качества 8
- Остриков А.Н., Шевцов А.А., Тертычная Т.Н., Сердюкова Н.А.
Технология получения гранул из шрота семян рапса с использованием двухступенчатого каскадного парокompрессионного теплового насоса..... 22

Физические и химические методы переработки сельхозпродукции

- Гернет М.В., Грибкова И.Н.
Современные способы использования хмелепродуктов в пивоварении..... 34
- Кирдяшкин В.В., Кандроков Р.Х., Андреева А.А.
Получение высокодисперсной гречневой муки для детского питания с применением инфракрасной обработки 43

Исследование свойств веществ и продукции АПК

- Курегян А.Г., Степанова Э.Ф., Печинский С.В., Оганесян Э.Т.
Модель стабилизации субстанций каротиноидов 55
- Донская Г.А., Дрожжин В.М., Блинова Т.Е., Семипятный В.К.
Ферментированный продукт на растительной основе..... 67

Биотехнологические и микробиологические аспекты

- Коробова Л.А., Кульнева Н.Г.
Прогнозирование развития кагатной гнили сахарной свеклы в зависимости от параметров среды 79
- Уланова Р.В., Колпакова В.В., Куликов Д.С., Евлагина Е.Г.
Аминокислотный состав белковых концентратов из вторичных продуктов пищевых производств и альтернативного сырья..... 89

Проектирование и моделирование продуктов питания нового поколения

- Фролова А.Е., Щетинин М.П.
Функционально-технологические свойства подсолнечной муки 104

Контроль качества и безопасности продукции АПК

- Татарина З.Г., Степанов К.М., Платонов Т.А.
Ветеринарно-санитарная экспертиза омуля (*Coregonus Autumnalis* (Pallas, 1776)), выловленного в период нагула и нерестовой миграции в бассейне реки Лена в сравнительном аспекте..... 114
- Акулич А.В., Самуйленко Т.Д.
Анализ производственного цикла заварочных отделений хлебопекарных предприятий Республики Беларусь 126

Использование вторичных ресурсов и новых видов сырья

- Ткешелашвили М.Е., Бобожонова Г.А., Сорокина А.В.
Разработка конфет типа Ассорти повышенной пищевой ценности и сохраняемости 139

Технологические процессы, машины и оборудование

- Резниченко И.Ю., Бородулин Д.М., Шафрай А.В., Пикулина Н.С., Потапова М.Н., Шафрай О.П.
Определение рациональных технологических параметров работы барабанного смесителя непрерывного действия при получении безглютеновой мучной смеси..... 152
- Славянский А.А., Семенов Е.В., Грибкова В.А., Николаева Н.В.
О кинетике потока жидкости в центробежном сепараторе 166

Статья-мнение

- Ксенафонтов Д.Н., Вьюшинский П.А., Загородников К.А., Якушев А.О.
Исследования технологических процессов производства пищевых эмульгаторов на основе рапсового масла..... 177

CONTENT

Theoretical aspects of storage and processing of agricultural products

- A. Lisitsyn, V. Markov, V. Grigorjeva, S.Tagiev, A. Efimov**
Changing the Natural Localization of Oil in Seeds as an Indicator of Their Quality 8
- A. Ostrikov, A. Shevtsov, T. Tertychnaya, N. Serdyukova**
Technology of Obtaining Pellets from Canola Seed Using a Two-Stage Cascading Vaporcompression Heat Pump 22

Physical and Chemical Methods of Farm Raw Material Processing

- M. Gernet, I. Gribkova**
Modern Methods of Using HopProducts in Brewing..... 34
- V. Kirdyashkin, R. Kandrov, A. Andreeva, V. Shchebelev**
Obtaining Highly Dispersed Buckwheat Flour for Baby Food Using Infrared Processing 43

Research on Traits of Substances and Agribusiness Products

- A. Kuregyan, E. Stepanova, S. Pechinsky, E. Oganessian**
Carotenoid Substance Stabilization Model..... 55
- G. Donskaya, V. Drozhzhin, T. Blinova, V. Semipyatniy**
Fermented plant-based product 67

Biotechnological and Microbiological Aspects

- L. Korobova, N. Kulneva**
Predicting the Development of Clamp Rot of Sugar Beet Depending on the Parameters of the Environment 79
- R. Ulanova, V. Kolpakova, D. Kulikov, E. Evlagina**
Amino Acid Composition of Protein Concentrates from Secondary Products of Food Production and Alternative Raw Materials 89

Designing and Modelling the New Generation Foods

- A. Frolova, M. Shchetinin**
Functional and Technological Properties of Sunflower Flour..... 104

Quality control and safety of agricultural products

- Z. Tatarinova, K. Stepanov, T. Platonov**
Veterinary and Sanitary Examination of Omul (*Coregonus Autumnalis* (Pallas, 1776)), Caught During the Feeding Period and Spawning Migration in the Lena River Basin in the Comparative Aspect 114
- A. Akulich, T. Samuylenko**
Analysis of the production cycle of fermentation rooms of bakery enterprises of the Republic of Belarus 126

Use of secondary resources and new types of raw materials

- M. Tkeshelashvili, G. Bobozhonova, A. Sorokina**
Development of Sweets of the Assorty Type Increased Nutritional Value and Shelf Life 139

Technological Processes, Machines and Equipment

- I. Reznichenko, D. Borodulin, A. Shafrai, N. Pikulina, M. Potapova, O. Shafrai**
Determination of Rational Technological Parameters for the Operation of a Continuous Drum Mixer When Obtaining a Gluten-Free Flour Mixture 152

Технологические процессы, машины и оборудование

- A. Slavyanskiy, E. Semenov, V. Gribkova, Natalia V. Nikolaeva**
About the Fluid Flow in the Centrifugal Separator 166

Version article

- D. Ksenafontov, P. Vyushinsky, K. Zagorodnikov, A. Yakushev**
Research of technological processes for the production of food emulsifiers based on rapeseed oil 177

Изменение природной локализации масла в семенах как показатель их качества

Лисицын Александр Николаевич

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт жиров»
191119, Санкт-Петербург г, ул. Чернышевского, д. 10
E-mail: vniig@vniig.org

Марков Владимир Николаевич

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт жиров»
191119, Санкт-Петербург г, ул. Чернышевского, д. 10
E-mail: vniig@vniig.org

Григорьева Валентина Николаевна

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт жиров»
191119, Санкт-Петербург г, ул. Чернышевского, д. 10
E-mail: vniig@vniig.org

Тагиев Шафи Камильевич

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт жиров»
191119, Санкт-Петербург г, ул. Чернышевского, д. 10
E-mail: vniig@vniig.org

Ефимов Андрей Владимирович

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Всероссийский научно-исследовательский институт жиров»
191119, Санкт-Петербург г, ул. Чернышевского, д. 10
E-mail: vniig@vniig.org

Качество масличных семян является основной характеристикой, ответственной за качество извлекаемого из них масла. Требования к семенам заложены в соответствующих нормативных документах и методики, определяющие эти показатели, часто не могут оперативно оценить их. В предлагаемой статье приводятся исследования по хранению семян в слоях различной высоты и изменению локализации масла в нативных биозащищенных в сферосомах клеток семян и связанное с этим изменением качество извлекаемого масла. В статье представлена попытка создания универсального показателя для контроля качества семян при их закупке и хранении.

Ключевые слова: семена; качество; хранение; высота насыпи; показатели окислительной порчи; масло, изменившее локализацию

Введение

В последние годы масложировая промышленность столкнулась с неблагоприятными явлениями, происходящими в масличных семенах при

сборе, хранении и переработке. Что связано не только с изменением климатических условий, но и использованием семенного материала не соответствующего зональным климатическим условиям выращивания семян, применяемого сорта,

условиям сбора урожая и их хранения, уборке после применения десикантов и изменением физико-химических свойств семян.

Нашими исследованиями установлено, что от различного рода внешних воздействий меняется природная локализация масла, находящегося во внутриклеточном пространстве, оно вытекает в межклеточное пространство и может быть извлечено растворителями (Лисицын, Григорьева, Кузнецова, 2014, с. 16; Лисицын, Марков, Григорьева, Аюкова, Довгалюк, Лисицына, 2019, с. 31).

В незрелых семенах содержится масло неполного синтеза не локализованного в сферосомах и находящегося во внутриклеточном пространстве пор и капилляров, что влияет на качество извлекаемого из таких семян масла

Представляется важным определить, существует ли зависимость между количеством масла, изменившего локализацию, и его меняющимися показателями окислительной порчи при хранении семян продолжительное время и собственно продолжительностью их хранения (Близняк, 1973, с. 6–8). При наличии такой зависимости возможно с некоторой степенью достоверности прогнозировать срок хранения этих семян, основываясь на количественном определении масла, изменившего локализацию.

Тем более, что в настоящее время широко используются семена масличных культур с измененным биохимическим составом по содержанию жирных кислот, белка, антипитательных веществ и т.д. Вышеуказанные задачи требуют всестороннего изучения семян масличных культур с целью установления не только их состава и технологических свойств, но и возможных сфер их использования. Фокус на качественных характеристиках семян, составе и количественном содержании входящих в них компонентов, актуализируют необходимость исследований свойств новых сортов маслосодержащих семян.

Теоретическое обоснование

Масличные семена представляют собой сложную многокомпонентную структуру, ядро которых состоит из белковых глобул, сферосом, содержащих масло и большого количества пор и капилляров, по которым поступают вода и питательные вещества. Сферосомы в свою очередь окружены мембраной, выполняющей роль биологической защиты масла от различных внешних воздействий.

Ядро семени окружено покровными тканями, защищающими его от различных воздействий окружающей среды, травмирования при уборке, транспортировке, хранении и т.д. (Кудинов, 1968; Ключкин, 1958, с. 9–11; Мелехина, Лобанов, 1994, с. 23–24; Шербаков, Лобанов, 1974, с. 145–147).

Плодовая оболочка (лузга) состоит из полисахаридов, протопектина и целлюлозы и сцементирована пектином. При последующем развитии растения она утолщается, становится механически более прочной за счет обогащения лигнином, кутинации, опробковения и ослизнения. Все это приводит к одревеснению оболочки.

Одревеснение оболочки повышает ее механическую прочность и уменьшает проницаемость для воды, кислорода и других газов. В результате с усилением механической прочности оболочки и соответственно усиливаются и ее защитные свойства (Щербаков, Лобанов, 2012, с. 41–42.).

Плодовая оболочка играет важную роль в сохранении стойкости семян к нежелательным воздействиям факторов окружающей среды и повышению их реакции на воздействие технологических факторов (Ключкин, 1958, с. 9–11).

В настоящее время селекцией созданы сорта подсолнечника, с более высоким содержанием масла в семенах, которое привело к уменьшению их лузжистости за счет снижения толщины покровных тканей, что в свою очередь снизило прочность покровных тканей (лузга). Лузжистость семян снизилась в среднем на 20%, масличность семян повысилась на 14–15% (Щербаков, Лобанов, 2012 с. 235–238), данные приведены в Таблице 1. Так, при масличности семян порядка 60%, масличность ядра достигает 75%, а лузжистость при этом снижается до 16–18%. Поверхностный слой лузги высокомасличных семян более тонкий (Лишкевич, Репина, 1957, с. 23–24; Шарков, Добун, 1955, с. 43–56).

Предполагается, что защитный слой семян при лузжистости 20% еще достаточно устойчив к внешним воздействиям и сохраняет свое основное назначение, но при дальнейшем понижении лузжистости он уже не может служить защитой от вредного воздействия окружающей среды, поэтому дальнейшее снижение лузжистости нежелательно (Мелехина, 1994; Щербаков, Лобанов, 2012, с. 232–238).

Из-за изменения свойств плодовой оболочки изменилась и способность семян сопротивлять-

Таблица 1
Масличность и лужистость семян разных сортов

Показатели	Традиционный сорт А-41	Высокомасличный сорт «Передовик»
Масличность, %:		
ядро	59,6	64,3
семена	37,6	52,4
лужистость, %	39,6	19,9

Источник: Щербаков В.Г., Лобанов В.Г. Биохимия и товароведение масличного сырья. М.: Колос, 2012. 392 с.

ся различным технологическим воздействиям и сохранять качество масла, содержащегося в них

Одновременно с этим изменился химический состав масла, его компонентов и лужги (Щербаков, Лобанов, 2012, с. 235–238). Семена современных селекционных сортов отличаются от традиционных по жирнокислотному составу в сторону увеличения содержания в них олеиновой и снижения содержания линолевой кислот. Изменился компонентный состав токоферолов и других сопутствующих веществ семени. В лужге содержится больше углеводов, нет токоферолов, много каротиноидов. В лужге высокомасличных семян на 3–4% содержится меньше целлюлозы и на 2–3% больше лигнина. Различия в химическом составе лужги высокомасличных и низкомасличных сортов семян связаны с морфологическими особенностями. Лужга низкомасличных семян толще, чем у высокомасличных сортов, содержит пучки волокнистого слоя, у них почти незаметна семенная оболочка. Все это обуславливает ее большую прочность, чем у высокомасличных семян.

Таким образом в результате селекции получены масличные растения с другим биохимическим составом, со сниженной прочностью плодовой оболочки и уплотненными тканями, с более плотным прилеганием лужги к ядру и сниженным ее содержанием, не всегда районированным вегетационным периодом.

Плодовая оболочка играет важную роль в сохранении стойкости семян к нежелательным воздействиям факторов окружающей среды и повышению их реакции на воздействие технологических факторов (Ключкин, 1958, с. 9–11).

Хранение семян является важным технологическим приемом, обеспечивающим при дальнейшей переработке качественные показатели вырабатываемой продукции. Как правило, семена хранят насыпью в буртах или элеваторах, в которых в зависимости от высоты слоя развиваются статические и динамические усилия. Исследования показали, что нагрузки, возникающие в элеваторах силосного типа, могут приводить к повреждению плодовых оболочек (лужги) семян подсолнечника (Платонов, Иванов, 1969, с. 58–64; Щербаков, Журавлев, 1975, с. 55–58; Щербаков, Ильин, Журавлев, 1976, с. 173, 174).

В настоящее время при заготовке семян для последующего хранения и переработки руководствуются стандартом ГОСТ 22391–2015¹ Подсолнечник. Технические условия. Согласно требованиям этого стандарта семена делятся на 3 класса, для каждого из которых установлены требования к качеству по соответствию их показателям массовых долей масла, влаги, различных примесей и окисленности (перекисное и кислотное числа). В качестве оперативного контроля предусматривается органолептическая оценка по соответствию их цвета и запаха. Но на практике возникают проблемы при закладке на хранение и хранении, несмотря на соответствующие ГОСТу органолептические показатели; низкое кислотное число, низкое содержание, стандартная массовая доля влаги – семена имеют низкую хранимость, может начаться самонагревание (Гаманченко, Щербаков, 1994, с. 21–22).

В стандарте и Техническом регламенте таможенного союза ТР ТС 015/2011 «О безопасности зерна»², ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции»³ предусмотрены все показатели, определяющие выпуск качественной безопасной про-

¹ ГОСТ 22391–2015 Подсолнечник. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2019. 6 с.

² ТР ТС 015/2011. О безопасности зерна [Электронный ресурс]. U.L. <http://docs.cntd.ru/document/902320395> (дата обращения: 10.10.2020).

³ ТР ТС 021/2011. О безопасности пищевой продукции [Электронный ресурс]. U.L. <http://docs.cntd.ru/document/902320560> (дата обращения: 10.09.2020).

дукции – растительного масла. В этих документах не учтена история семян при их выращивании, хранении и последующей передаче на переработку. Семена могли быть подвергнуты десикации, и степень их зрелости не соответствует необходимой.

Растению не хватало вегетационного периода на выполнение биохимических процессов для созревания из-за плохих погодных условий или возможно из-за посева нерайонированных сортов или семена были травмированы в процессе уборки, транспортирования и закладки на хранение (Лисицын, Григорьева, Кузнецова, 2014, с. 16–20; Романова, Сазыкина, 1967, с. 5–21; Романова, Сазыкина, 1961, с. 52–64).

Недозрелость семян – это причина незавершенности биосинтеза в семенах, что приводит к образованию моно- и диглицеролов, промежуточных соединений белка и веществ липидной природы с олигосахарами, невыполненности клеточных стенок и мембран органелл клеток ядра.

Изучению процесса хранения семян масличных культур

Изучению процесса хранения семян масличных культур, особенно семян подсолнечника, исследователями уделялось много внимания (Близняк, 1973, с. 6–8; Бородулина, Попов, Снесарь, 1985, с. 25–27; Копейковский, Костенко, 1963, с. 14–18; Лисицын, Марков, Григорьева и др., 2019, с. 31–33; Лобанов, 1999, 60 с.; Романова, Сазыкина, 1959, с. 5–17; Щербаков, Журавлева, Лобанов, 1974, с. 5–19; Щербаков, Надыкта, 1974, с. 19–21; Щербаков, Шаззо, Лобанов, 2002)

Было установлено, что при хранении масличных семян под воздействием различного рода внешних факторов возможно нарушение их плодовой оболочки и ядра, и масло, находящееся в нем, меняет свою локализацию, вытекая в межклеточное пространство (капилляры и поры) под воздействием капиллярных сил, теряет при этом свою биозащищенность и легко подвергается гидролитическим и окислительным изменениям из-за свободного доступа к нему ферментов семян и кислорода воздуха.

В незрелых семенах из-за незавершенности синтеза находится частично не локализованное в сферосомах масло, которое содержит свободные жирные кислоты, моно- и диглицерины, окисляющиеся в первую очередь, и эти изменения приводят к снижению качества такого масла из-за повышения содержания в нем продуктов окисления и гидролиза (перекисное, кислотное, анизидиновое числа).

При последующем маслодобывании это масло смешивается с маслом, не менявшим свою локализацию, и в результате качество всего получаемого масла снижается. Продукты окисления масла взаимодействуют с протеином жмыхов и шротов, что ухудшает их кормовую ценность.

Поэтому важным является изучение этого явления при хранении семян. Изменение локализации масла в семенах характеризует степень их разрушения в результате воздействия давления при хранении в слое насыпи (Платонов, Иванов, 1969, с. 58–59; Щербаков, Журавлев, 1975, с. 55–58; Щербаков, Ильин, Журавлев, 1978, с. 173, 174).

Необходимость оценки доли масла, изменившего локализацию, определяющего качество конечного продукта, очевидна: из не подвергнутого деструктивным изменениям ядра семян и собственно семян извлечение свободного масла экстрагированием неполярными растворителями практически не происходит и оно находится в биологически защищенном состоянии (Демченко, Ключкин, Лобанов, Щербаков, 1982, с. 18–20; Лисицын, Григорьева, Кузнецова, 2014, с. 16–20; Сироцука Тогама, 1971, с. 612–618; Щербаков, Лобанов 1977, с. 14–16; Шорсткий, Кошевой, 2015, с. 40–42).

В данной статье мы приводим результаты исследований по влиянию высоты слоя насыпи на изменение локализации масла. Требовалось установить, существует ли зависимость между давлением (высотой слоя насыпи), продолжительностью хранения и изменением показателем окислительной порчи. Установление такой зависимости даст возможность с определенной степенью достоверности прогнозировать сроки хранения семян, гарантирующие выработку качественной, конкурентоспособной продукции.

Материалы и методы исследования

Материалы

Исследования проводили на высокомасличных сортах семян подсолнечника современной селекции с масличностью 50% и более.

Оборудование

Для имитации модельной системы хранения семян в силосах были созданы три установки (Ефимов, Тагиев, Марков, 2019, с. 23–26).

Расчетные значения давления массы семян на различных высотах, считая от верха насыпи, составили:

- 20 м – 0,088 МПа;
- 30 м – 0,13 МПа;
- 40 м – 0,18 МПа.

Методы исследования

Исследования проводили на семенах подсолнечника с использованием указанной модельной системы, где соблюдались одинаковые условия хранения с изменяющейся величиной давления семенной массы в слоях.

Семена хранили в течение 185 дней с отбором проб через 30, 60, 105 и 185 дней. В семенах определяли показатели, приведенные в Таблице 3. Также определяли $\delta_{я}$ свободного масла, изменившего локализацию.

Масло, изменившее локализацию, экстрагировали углеводородным растворителем.

Общее содержание масла определяли, по методикам, опубликованным в руководстве по методам исследования, технoхимическому контролю и учету производства в масложировой промышленности⁴. Продукты окисления, связанные и прочно связанные липиды, влажность, перекисное, кислотное числа также определяли по методикам, опубликованным в выше описанном Руководстве.⁵

Относительную долю масла, изменившего локализацию (неструктурированного), рассчитывали по формулам:

$$\delta_{я} = \frac{m_{ияс} \cdot Y_0(1 - 0,01B_{я})}{100M_0} \text{ или } \delta_{я} = \frac{m_{ияс} \cdot Y_{0с}}{100M_{яс}}$$

Обработку результатов исследований проводили с применением статистического метода, определяя средние значения вычисляемой величины на основе не менее 3-х повторных определений.

Принятые в работе условные обозначения приведены в Таблице 2.

Таблица 2

Принятые в работе условные обозначения относительных физических величин и их понятия. (Выражаются в долях единицы или%)

Обозначение	Понятие величины
$M_0 / M_{0с}$	Массовая доля масла в семенах при фактической массовой доле влаги B_0 и на сухое вещество семян, соответственно
$M_n / M_{нс}$	Массовая доля масла в лузге при фактической массовой доле влаги B_n и на сухое вещество лузги, соответственно
$M_{я} / M_{яс}$	Массовая доля масла в ядре при фактической массовой доле влаги $B_{я}$ и на сухое вещество ядра, соответственно
B_0	Массовая доля влаги в семенах. (Принимается по массовой доле влаги при определении массовой доли масла в семенах)
$B_{я}$	Массовая доля влаги в ядре семян. (Принимается по массовой доле влаги при определении массовой доли масла в ядре)
B_n	Массовая доля влаги в лузге семян. (Принимается по массовой доле влаги при определении массовой доли масла в лузге)
$L_0 / L_{0с}$	Массовая доля лузги в семенах при фактической массовой доле влаги B_n и сухой лузги, соответственно
$Y_0 / Y_{0с}$	Массовая доля ядра в семенах при фактической массовой доле влаги $B_{я}$ и сухого ядра, соответственно
$m_{ияс} / m_{ияс}$	Массовая доля масла, изменившего локализацию, по отношению к ядру семян при фактической массовой доле влаги $B_{я}$ и на сухое вещество ядра, соответственно
$\delta_{я}$	Относительная доля масла, изменившего локализацию, по отношению ко всему маслу, содержащемуся в семенах

⁴ Руководство по методам исследования, технoхимическому контролю и учету производства в масложировой промышленности / под ред. В.П. Ржехина, А.Г. Сергеева. Л., 1967. Т. 1. 585 с.

⁵ Руководство по методам исследования, технoхимическому контролю и учету производства в масложировой промышленности / под ред. В.П. Ржехина, А.Г. Сергеева. Л., 1967. Т. 2. 1024 с.

Результаты и их обсуждение

Основные результаты исследований приведены в Таблицах 3–5 и на Рисунках 1–3.

Анализ данных об изменении качества хранящихся семян за принятые отрезки времени периода хранения, приведенных в Таблице 3, показал, что их значения мало изменились.

Аналитические исследования масла в семенах при их хранении (Таблица 4) установили изменения

значений показателей. Кислотное число активно увеличивается в течение 60 дней хранения, величина которого тем выше, чем выше высота насыпи хранения семян

Данные Таблицы 4 показывают, что показатели окислительной порчи, относительного содержания свободного масла по значениям отличаются от исходных показателей.

Масло, высвобождаясь, получает возможность перетекать под действием капиллярных сил и таким

Таблица 3

Данные аналитических исследований по определению значений показателей семян при их хранении в модельных условиях. Значения средние по трём высотам (0; 20; 30; 40) м от 0 до 185 дней хранения

Обозначение	Размерность	Суммарный срок хранения семян, дни				
		Исходные	30	60	105	185
M_0 / M_{0c}	%	46,28/48,47	–	–	–	46,51/48,79
M_n / M_{nc}	%	3,70/4,02	–	–	–	2,88/3,11
M_y / M_{yc}	%	61,22/63,43	–	–	–	61,14/63,44
V_0^*	%	4,51	4,30	4,20	4,40	4,67
V_n^*	%	3,49	3,30	3,20	3,30	3,63
V_l^*	%	7,81	–	–	–	7,49
L_0 / L_{0c}	%	25,08/23,20	26,0/24,14	26,08/24,25	26,08/24,12	26,25/24,28
Y_0 / Y_{0c}	%	74,90/72,29	74,0/71,56	73,92/71,55	73,92/71,48	73,76/71,08

*Примечание: массовая доля влаги принята по значению, найденному в измельчённом продукте, при определении массовой доли масла в конкретном продукте.

Таблица 4

Данные аналитических исследований по определению значений показателей масла, полученного из семян при их хранении в модельных условиях

Показатели	Размерность	Суммарный срок хранения семян, дни												
		Исходные		30			60			105			185	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Высота	м	0	20	30	40	20	30	40	20	30	40	20	30	40
слоя насыпи														
Кислотное число	мг К.Н.г	0,30	0,43	0,86	0,85	1,02	0,94	0,97	1,04	0,96	0,98	1,14	0,97	1,05
Перекисное число	мэкв акт. O_2 /кг	2,93	2,93	4,03	4,01	4,00	4,40	4,20	3,25	4,00	3,61	3,29	3,68	3,31
Влага ядра	%	3,49		3,30			3,17			3,30				3,65
Сод. неструктурированных липидов, $m_{ин}$	%	2,03	3,26	2,85	3,29	3,72	4,00	3,55	3,16	3,22	3,70	2,31	3,15	3,35
Сод. неструктурированных липидов, $m_{ис}$	%	2,10	3,37	2,95	3,40	3,87	4,17	3,70	3,28	3,33	3,81	2,39	3,27	3,47
δ_y		3,20/												
0 дн./185дн.	%		5,20	4,60	5,30	6,00	6,40	5,70	5,10	5,10	5,90	2,68	3,66	3,89
Для исходных семян		3,35												

образом менять природную локализацию. В результате этого происходит увеличение показателя δ_a «Относительная доля масла, изменившего локализацию, или свободного масла»

Перекисное число масла в течение 60 дней хранения также увеличивается с высотой насыпи. Начиная со 105 дня хранения, его величина уменьшается, что, вероятно, связано с образованием связанных липидов путем сорбции протеином окисленных форм масла.

В Таблице 5 приведены данные по изменению содержания связанных форм липидов при хранении подсолнечных семян, связанные / прочно связанные,%, для начала и конца экспериментального хранения, а также по высоте насыпи семян в конце хранения (185 дней). Анализ показал, что количество связанных форм липидов в конце хранения по сравнению с началом хранения, судя по ядру, увеличилось, (на 0,84%) в то время как количество прочно связанных липидов, судя по ядру, уменьшилось (на 0,4%). Но, если количество связанных липидов увеличилось примерно на 0,8%, а количество прочносвязанных липидов примерно уменьшилось лишь на 0,4%, следовательно, основной прирост связанных липидов произошел за счет сорбции протеином свободных липидов и в первую очередь, их окисленных форм.

Уменьшение количества прочно связанных липидов в конце хранения по сравнению с их содержанием в исходных семенах гипотетически можно объяснить разрушением межклеточных мембран и мембран сферосом, так как эти липиды входят в их структуру (Щербаков, Лобанов, 2012, 392 с.; Голдовский, 1958, 446 с.).

Если сравнивать содержание связанных и прочносвязанных липидов (Таблица 5), содержащих-

ся в семенах или их составляющих (ядро + лузга) в конце хранения, то общая тенденция изменения значений показателей идет в сторону снижения с ростом высоты насыпи хранящихся семян. Это изменение является следствием увеличения нагрузки на семена с увеличением высоты слоя их хранения, что подтверждает выше сказанное предположение о разрушении мембран. Разрушение мембран может зависеть также от сортовой особенности семян, степени их зрелости.

Изменение показателей при хранении семян с различной моделируемой высотой насыпи, свойственной элеватору силосного типа (глубина залегания хранящегося слоя семян) приводится также в графической интерпретации данных.

На Рисунке 1 приведены кривые изменения показателя «перекисное число масла», количественно характеризующего образование первичных продуктов окисления масла. Вид зависимостей до 60 дней хранения коррелирует с кривыми роста кислотного числа (Рисунок 2), характеризующего количество образовавшихся свободных жирных кислот, отщепившихся от молекул триацилглицеролов и в первую очередь подверженных процессу окисления. Оценки кривых, соответствующих давлениям 20, 30, 40 метрам хранения и без давления (0 метров высоты насыпи семян) вытекает следующее: кривая увеличения показателя при хранении без приложения давления расположена значительно ниже кривых хранения семян под давлением, соответствующим слоям 30 и 40 метров и почти совпадает с кривой, соответствующей 20 метрам хранения, кроме экстремального значения на кривой, соответствующей слою 20 м хранения. Такой вид зависимостей объясним, поскольку, чем больше количество свободных жирных кислот в масле, поменявшем природную локализацию (рост кислотного числа), тем, соот-

Таблица 5

Изменение количества связанных форм липидов при хранении подсолнечных семян. Связанные / Прочно связанные, % (на сухое вещество)

Хронология изучения проб	Исходные семена, 0 м	Высота 20 м	Высота 30 м	Высота 40 м
03. 2019				
Семена	2,41/0,32	-	-	-
Ядро	3,29/0,67			
лузга	0,26/0,05			
10. 2019				
Семена	3,30/0,31	3,21/0,32	3,11/0,35	2,65/0,22
Ядро	4,13/0,37	4,14/0,36	4,07/0,43	3,37/0,23
лузга	0,79/0,13	0,40/0,20	0,23/0,13	0,46/0,21

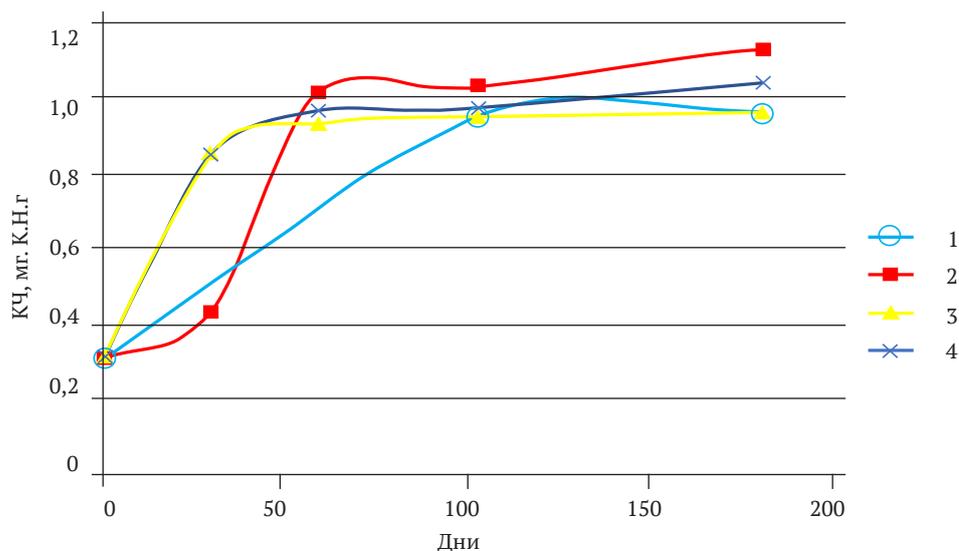


Рисунок 1. Изменение перекисного числа масла (ПЧ, мэкв. O_2 /кг) в семенах подсолнечника при их хранении в зависимости от высоты насыпи семян в хранилище и времени хранения. Кривые: 1 – 0 м; 2 – 20 м; 3 – 30 м; 4 – 40 м

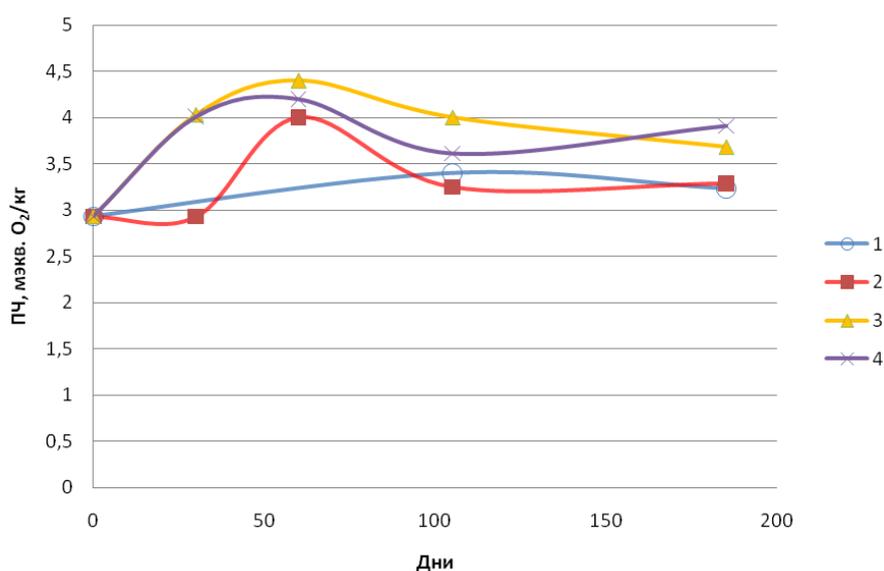


Рисунок 2. Изменение кислотного числа масла (КЧ мг. К.Н.г) в семенах подсолнечника при их хранении в зависимости от высоты насыпи семян в хранилище и времени хранения. Кривые: 1 – 0 м; 2 – 20 м; 3 – 30 м; 4 – 40 м.

ответственно, больше рост показателя «перекисное число» в таком масле и во всём масле в целом, извлекаемом из семян для определения этих показателей. Вместе с тем, следует обратить внимание на ход изменения данного показателя после 60-ти дневного периода хранения. Вид кривых показывает, что значение показателя «перекисное число масла» уменьшается. Из чего следует, что количество окисленных форм масла, содержащегося в нём, уменьшается. Это явление можно объяснить сорбционным свойством протеина, который об-

разует с окисленными формами слабую связь, по типу водородной.

На Рисунке 2 представлено изменение показателя «кислотное число масла» в хранящихся семенах. Вид зависимостей практически одинаковый для всех моделируемых высот. На 60-й день хранения рост кислотного числа сильно замедляется. Кривая изменения кислотного числа в семенах, хранившихся без наложения давления, показывает более медленный темп ро-

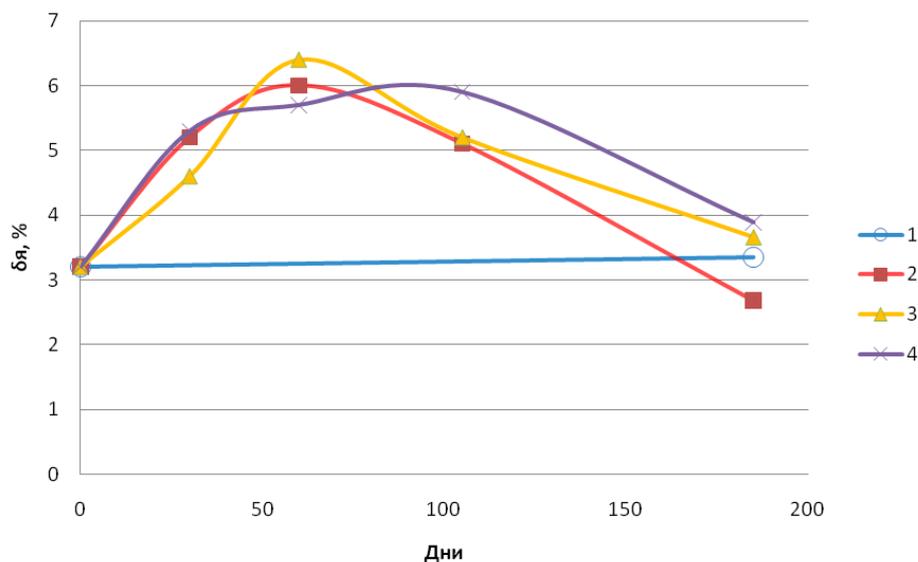


Рисунок 3. Изменение относительного содержания масла, изменившего природную локализацию (δ_n %), в семенах подсолнечника при их хранении в зависимости от высоты насыпи семян в хранилище и времени хранения. Кривые: 1 – 0 м; 2 – 20 м; 3 – 30 м; 4 – 40 м.

ста показателя. Такой характер этого явления можно объяснить тем, что в слоях, хранящихся под давлением вышерасположенной семенной массы, происходит дополнительное выделение масла из разрушенных клеток ядра семян, что увеличивает возможность его окисления, по сравнению с маслом в неразрушенных нативных клетках. Окисление масла в хранящихся семенах под насыпью 30 м и 40 м (быстрый темп набора показателя кислотное число) завершается через 30 дней хранения, экстремум значений показателя достигается в районе 50 дней хранения. Повышение значения показателя для семян, хранящихся без давления, наблюдается примерно до 120 дней хранения, затем идёт снижение по причине аналогичной снижению показателя «перекисное число масла». Следовательно, судя по изменению показателя «кислотное число масла», семена следует хранить при высоте насыпи 10–20 метров.

На Рисунке 3 представлены зависимости изменения показателя относительной доли масла, изменившего локализацию (неструктурированного), по отношению ко всему маслу, содержащемуся в семенах – δ_n . Исходя из физического смысла, этот показатель показывает, какая доля масла от его общего количества содержащегося в ядре семян, изменила природную локализацию и вытекла из разрушенных клеток ядра семян. В перспективе, именно эта доля масла подвергнется, в первую очередь, окислительной порче и будет способствовать окислению всего извлечённого масла в процессе хранения и маслодобывания.

Общий вид зависимостей показывает рост значений этого показателя за указанный период хранения. Следует отметить его быстрый рост в течение 30-ти дней хранения, а затем темп изменения значительно замедляется и затем снижается, затем идёт снижение значения показателя. Хранение семян без создания давления их насыпью не приводит к значительному росту показателя. Следовательно, давление, развиваемое слоем насыпи семян, способствует делокализации масла внутри ядра семян. Что интересно, для 20 и 30 метров слоя насыпи хранения семян наблюдается рост значения показателя до 60-ти дней хранения (экстремумы зависимостей), а затем – снижение. Для 40 метров слоя насыпи хранения экстремум зависимости наблюдается примерно при 110 днях хранения. Снижение значения показателя можно объяснить сорбционными свойствами протеина Два процесса: вытекание свободного масла и поглощение его протеином, в первую очередь, окисленных форм, – разно направленные, одновременно протекающие процессы. Доминирование одного физико-химического процесса над другим и определяет значения определяемых показателей и форму зависимости. Экстремумы значений показателей на Рисунках 1 и 2 совпадают с экстремумами зависимостей на Рисунке 3. Это соответствует максимальному выделению масла и соответственно максимальному его окислению. Затем процессы окисления замедляются, так как меньше поступает нового субстрата для окисления. Снижение показателя на Рисунке 3 после экстремального значения, по-видимому, объясняется худшей растворимостью окисленных и сорбиро-

ванных форм масла при проведении аналитического исследования. Это подтверждается также показателями связанные и прочно связанные липиды (см. Таблицу 5). При исследовании вид растворителя, время экстрагирования, температура растворителя, темп перемешивания постоянны.

Оксисленные и сорбированные протеином формы масла на последующих этапах процесса маслодобывания частично переходят в извлекаемое масло. В экстракционном масле их содержание будет больше, чем в прессовом, так как глубина извлечения при экстракционном способе выше, чем при прессовом.

В настоящее время нами продолжаются исследования в данном направлении.

Выводы

В результате проведенных исследований установлено:

- при хранении семян в слоях насыпи различной высоты происходит разрушение мембран клеток и сферосом, степень которого зависит от высоты слоя насыпи и доли децентрализованного масла;
- показатель «доля масла, изменившего локализацию» косвенно может отражать устойчивость масла в семенах к окислительной порче. С увеличением высоты слоя хранения семян значение показателя увеличивается. Долю этого масла следует рассчитывать по отношению к массе масла, содержащегося в ядре семян или семенах вообще, а не к массе семян, что обеспечивает объективность сравнения для различных семян.
- вид найденных зависимостей изменения показателей окислительной порчи коррелирует с видом кривой изменения показателя «доля масла, изменившего локализацию» в процессе хранения семян;
- в процессе хранения семян происходит увеличение количества связанных липидов. Это явление можно объяснить сорбированием окисленных форм масла, изменившего природную локализацию, протеином под воздействием внешних факторов. Количество прочно связанных липидов в процессе хранения по сравнению с исходными семенами уменьшается, что может объясняться их высвобождением при разрушении мембран клеточной и внутриклеточной структур;
- целесообразно применять хранение семенных масс подсолнечника высотой насыпи 10–20 ме-

тров с учётом особенностей морфологического состава семени и строения клеточной структуры ядра. Для уменьшения давления, развиваемого верхними слоями хранящихся семян, следует в первую очередь перерабатывать нижние слои семян в силосных банка;

- рассматриваемый в статье новый показатель может служить интегральным показателем качества семян при заготовках и хранении. Предполагаем, что его также можно будет использовать при выведении и испытании новых сортов семян, поскольку он косвенно характеризует прочность тканей ядра семян, связанной с их вызреванием. При продвижении посевов подсолнечника на север актуально уменьшение сроков вегетации. Работы по выведению таких новых сортов уже ведутся в России (Вислобокова, Мустафин, Мазурина, Иванов, 2017, с. 20–26).

Благодарности

Авторы выражают благодарность научным сотрудникам, проводившим аналитические исследования образцов семян: Лисицыной И.А., Довгалюк И.В., Аюковой Т.А.

Литература

- Близняк Г.И., Щербаков В.Г., Малышев А.М. Изменение кислотного числа масла семян подсолнечника в зависимости от условий и длительности хранения // Масложировая промышленность. 1973. № 3. с. 6–8.
- Бородулина А.А., Попов П.С., Снесарь Э.В. Изменение качества масла у различных сортов подсолнечника в процессе хранения семян // Масличные культуры. 1985. № 87. с. 25–27.
- Вислобокова Л.Н., Мустафин И.И., Мазурина З.И., Иванов С.В. О селекции подсолнечника в Тамбовском Н.И.Х // Масличные культуры. 2017. № 2(170). с. 20–26.
- Гаманченко А.И., Щербаков В.Г. Биохимические изменения в семенах подсолнечника различных типов при потере жизнеспособности // Известия ВУЗов. Пищевая технология. 1994. № 1–2. с. 21–22.
- Голдовский А.М. Теоретические основы производства растительных масел. М.: Пищепромиздат, 1958. 446 с.
- Давление сыпучих материалов в силосах. М.: Госкомиздат, 1969, 68 с.
- Давление сыпучих материалов в силосах и бункерах / сост. А.М. Курочкин. М., 1969. 70 с. (Элеваторная, мукомольно-крупяная и комбикормовая промышленность).

- Демченко П.П., Ключкин В.В., Лобанов В.Г., Щербаков В.Г. Влияние режимов влаготепловой обработки на локализацию масла в клетках семян подсолнечника // *Масложировая промышленность*. 1982. № 2. С. 18–20.
- Ефимов А.В., Тагиев Ш.К., Марков В.Н. Модельная система для изучения хранения семян // *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института жиров*. 2019. № 1–2. С. 23–26. <https://doi.org/10.25812/VNIIG.2019.85.87.002>
- Ключкин В.В. Прочность плодовых оболочек высокомасличных семян подсолнечника // *Масложировая промышленность*. 1958. № 2. С. 14–16.
- Копейковский В.М., Костенко В.К. Влияние жизнеспособности семян высокомасличного подсолнечника на их качество при хранении // *Известия вузов. Пищевая технология*. 1963. № 5. с. 14–18.
- Кудинов П.И. Исследование формирования плодовой оболочки высокомасличных семян подсолнечника в связи с условиями их переработки в производстве растительных масел: автореф. на соиск. ученой степ. канд. техн. Краснодар, 1968. 25 с.
- Лисицын А.Н., Марков В.Н., Григорьева В.Н., Аюкова Т.П., Довгалюк И.В., Лисицына И.А. К вопросу оперативного контроля качества масличных семян // *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института жиров*. 2019. № 1–2. С. 31–33. <https://doi.org/10.25812/VNIIG.2019.61.86.021>
- Лисицын А.Н., Григорьева В.Н., Кузнецова Н.В. Хранение и переработка масличных семян // *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института жиров*. 2014. № 2. С. 16–20.
- Лишкевич М.И., Репина Т.С. Химический состав лузги подсолнечника // *Масложировая промышленность*. 1957. № 9. С. 23–24.
- Лобанов В.Г. Изучение основы технологии хранения и переработки подсолнечника: дис. ... д-ра техн. наук. М., 1999. 60 с.
- Мелехина О.В., Лобанов В.Г. Влияние липидов покровных тканей на характер процессов в семенах подсолнечника при самосогревании // *Известия вузов. Пищевая технология*. 1994. № 1–2. с. 23–24.
- Мелехина О.В. Влияние биологических особенностей покровных тканей семян подсолнечника на изменение их качества при хранении: автореф. на соиск. ученой степ. канд. техн. Краснодар, 1994. 22 с.
- Платонов П.Н., Иванов Б.М. Давление зерна в силосах // *Современные проблемы механики сыпучих материалов*. М, 1968. с. 58–64.
- Романова Л.В., Сазыкина Н.А. Сравнительное изучение семян подсолнечника высокомасличных сортов в связи с вопросами их хранения // *Труды ВНИИЖ*. 1959. Вып. 19. с. 5–17.
- Романова Л.В. Сравнительное изучение особенностей масличных культур, влияющих на их хранение // *Труды ВНИИЖ*. 1967. Вып. 24. с. 5–21.
- Романова Л.В., Сазыкина Н.А. Влияние различных компонентов семенной массы на её стойкость при хранении // *Труды ВНИИЖ*. 1961. Вып. 22. с. 52–64.
- Руководство по методам исследования, технико-химическому контролю и учету производства в масложировой промышленности / под ред. В.П. Ржежина, А.Г. Сергеева. Л., 1967. Т. 1. 585 с.
- Руководство по методам исследования, технико-химическому контролю и учету производства в масложировой промышленности / под ред. В.П. Ржежина, А.Г. Сергеева. Л., 1967. Т. 2. 1024 с.
- Сироцука Т., Тогами Т. Современное состояние экстрагирования жидкостями Различных компонентов из твёрдых частиц // *Кагакукогаку*. 1971. Т. 85, № 6. с. 612–618.
- Шарков В.И., Добун А.А. К вопросу о химическом составе подсолнечной лузги // *Гидролизная и лесохимическая промышленность*. 1955. № 3. с. 43–56.
- Щербаков В.Г., Лобанов В.Г. Биохимия и товароведение масличного сырья. М.: Колос, 2012. 392 с.
- Щербаков В.Г., Журавлева А.И., Лобанов В.Г. Жизнеспособность и качество семян подсолнечника при хранении // *Известия вузов. Пищевая технология*. 1974. № 5. С. 15–19.
- Щербаков В.Г., Надыкта В.Д. Жизнеспособность семян и антирадикальная активность липидов подсолнечника при хранении // *Известия вузов. Пищевая технология*. 1974. № 4. С. 19–21.
- Щербаков В.Г., Ильин П.П., Журавлев А.И. Изменение статистических нагрузок в семенной массе подсолнечника // *Известия вузов. Пищевая технология*. 1978. № 5. С. 173–174.
- Щербаков В.Г., Лобанов В.Г. Локализация липидов в тканях семян подсолнечника // *Известия вузов. Пищевая технология*. 1974. № 3. С. 145–147.
- Щербаков В.Г., Кудинов П.И. Плодовая оболочка высокомасличных подсолнечных семян // *Известия вузов. Пищевая технология*. 1967. № 1. С. 18–20.
- Щербаков В.Г., Журавлев А.И. Об условиях хранения семян подсолнечника в элеваторах силосного типа // *Известия вузов. Пищевая технология*. 1975. № 1. с. 55–58.
- Щербаков В.Г., Шазо А.Ю., Лобанов В.Г. Теоретические основы хранения и переработки семян подсолнечника. М.: Колос, 2002. 596 с.
- Щербаков В.Г., Лобанов В.Г. Электронномикроскопическое исследование продуктов переработки подсолнечника // *Масложировая промышленность*. 1977. № 8. с. 14–16.
- Шорсткий И.А., Кошевой Е.П. Экстракция с наложением импульсного электрического поля // *Известия вузов. Пищевая технология*. 2015. № 4. С. 40–42.

Changing the Natural Localization of Oil in Seeds as an Indicator of Their Quality

Alexander N. Lisitsyn

*Federal State Budgetary Scientific Institution
“The All Russian Scientific-Research Institute of Fats”
10, Chernyachovskogo street, St.Petersburg, 191119
E-mail: vniig@vniig.org*

Vladimir N. Markov

*Federal State Budgetary Scientific Institution
“The All Russian Scientific-Research Institute of Fats”
10, Chernyachovskogo street, St.Petersburg, 191119
E-mail: vniig@vniig.org*

Valentina N. Grigorjeva

*Federal State Budgetary Scientific Institution
“The All Russian Scientific-Research Institute of Fats”
10, Chernyachovskogo street, St.Petersburg, 191119
E-mail: vniig@vniig.org*

Shafi K.T.giev

*Federal State Budgetary Scientific Institution
“The All Russian Scientific-Research Institute of Fats”
10, Chernyachovskogo street, St.Petersburg, 191119
E-mail: vniig@vniig.org*

Andrey V. Efimov

*Federal State Budgetary Scientific Institution
“The All Russian Scientific-Research Institute of Fats”
10, Chernyachovskogo street, St.Petersburg, 191119
E-mail: vniig@vniig.org*

The quality of the oilseeds is the main characteristic responsible for the quality of the oil extracted from them. The requirements for seeds are laid down in the relevant regulatory documents and the methods that determine these indicators often cannot quickly assess them. This article presents studies on the storage of seeds in layers of different heights and changes in the localization of oil in native seed cells bioprotected in spherosomes and the quality of the extracted oil associated with this change. The article presents an attempt to create a universal indicator for controlling the quality of seeds during their purchase and storage.

Keywords: seeds; quality; storage; embankment height; indicators of oxidative deterioration; localized oil

References

- Bliznyak G.I., Shcherbakov V.G., Malyshev A.M. *Izmenenie kislotnogo chisla masla semyan podsolnechnika v zavisimosti ot uslovii i dlitel'nosti khraneniya* [Change in the acid number of sunflower seed oil depending on the conditions and duration of storage]. *Maslozhirovaya promyshlennost'* [Oil and fat industry], 1973, no. 3, pp. 6–8.
- Borodulina A.A., Popov P.S., Snesar' E.V. *Izmenenie kachestva masla u razlichnykh sortov podsolnechnika v protsesse khraneniya semyan* [Changes in the quality of oil in different varieties of sunflower during storage of seeds].

- Maslichnye kul'tury* [Oilseeds], 1985, no. 87, pp. 25–27.
- Vislobokova L.N., Mustafin I.I., Mazurina Z.I., Ivanov S.V. O selektsii podsolnechnika v Tambovskom N.I.Kh [On sunflower breeding at the Tambov Research Institute of Agriculture]. *Maslichnye kul'tury* [Oilseeds], 2017, no. 2(170), pp. 20–26.
- Gamanchenko A.I., Shcherbakov V.G. Biokhimicheskie izmeneniya v semenakh podsolnechnika razlichnykh tipov pri potere zhiznesposobnosti [Biochemical changes in sunflower seeds of various types with loss of viability]. *Izvestiya V.Z.v Pishchevaya tekhnologiya* [University news Food technology], 1994, no. 1–2, pp. 21–22.
- Goldovskii A.M. Teoreticheskie osnovy proizvodstva rastitel'nykh masel [Theoretical foundations for the production of vegetable oils]. Moscow: Pishchepromizdat, 1958. 446 p.
- Davlenie sypuchikh materialov v silosakh [Pressure of bulk materials in silos]. Moscow: Goskomizdat, 1969. 68 p.
- Davlenie sypuchikh materialov v silosakh i bunkerakh [Pressure of bulk materials in silos and bins]. Moscow, 1969. 70 p.
- Demchenko P.P., Klyuchkin V.V., Lobanov V.G., Shcherbakov V.G. Vliyanie rezhimov vlagoteplovoi obrabotki na lokalizatsiyu masla v kletkakh semyan podsolnechnika [Influence of Moisture-Heat Treatment Regimes on Oil Localization in Sunflower Seeds]. *Maslozhirovaya promyshlennost'* [Oil and fat industry], 1982, no. 2, pp. 18–20.
- Efimov A.V., Tagiev Sh.K., Markov V.N. Model'naya sistema dlya izucheniya khraneniya semyan [Model System for Studying Seed Storage]. *Vestnik Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zhirov* [Bulletin of the All-Russian Research Institute of Fats]. 2019, no. 1–2, pp. 23–26. <https://doi.org/10.25812/VNIIG.2019.85.87.002>
- Klyuchkin V.V. Prochnost' plodovykh obolochek vysokomaslichnykh semyan podsolnechnika [Strength of fruit shells of high-oil sunflower seeds]. *Maslozhirovaya promyshlennost'* [Oil and fat industry], 1958, no. 2, pp. 14–16.
- Kopeikovskii V.M., Kostenko V.K. Vliyanie zhiznesposobnosti semyan vysokomaslichnogo podsolnechnika na ikh kachestvo pri khraneni [Influence of the viability of high-oil sunflower seeds on their quality during storage]. *Izvestiya vuzov Pishchevaya tekhnologiya* [University news Food technology], 1963, no. 5, pp. 14–18.
- Kudinov P.I. Issledovanie formirovaniya plodovoi obolochki vysokomaslichnykh semyan podsolnechnika v svyazi s usloviyami ikh pererabotki v proizvodstve rastitel'nykh masel. Avtoref. diss. kand. tekhn. nauk. [Study of the formation of the fruit shell of high-oil sunflower seeds in connection with the conditions of their processing in the production of vegetable oils. Abstract of Ph.D. (Technical) thesis]. Krasnodar, 1968. 25 p.
- Lisitsyn A.N., Markov V.N., Grigor'eva V.N., Ayukova T.P., Dovgalyuk I.V., Lisitsyna I.A. K voprosu operativnogo kontrolya kachestva maslichnykh semyan [On the issue of operational quality control of oilseeds]. *Vestnik Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zhirov*. [Bulletin of the all-russian research institute of fats], 2019, no. 1–2, pp. 31–33. <https://doi.org/10.25812/VNIIG.2019.61.86.021>
- Lisitsyn A.N., Grigor'eva V.N., Kuznetsova N.V. Khranenie i pererabotka maslichnykh semyan [Storage and processing of oil seeds]. *Vestnik Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta zhirov* [Bulletin of the all-russian research institute of fats], 2014, no. 2, pp. 16–20.
- Lishkevich M.I., Repina T.S. Khimicheskii sostav luzgi podsolnechnika [The chemical composition of sunflower husk]. *Maslozhirovaya promyshlennost'* [Oil and fat industry], 1957, no. 9, pp. 23–24.
- Lobanov V.G. Izuchenie osnovy tekhnologii khraneniya i pererabotki podsolnechnika. Diss. dokt. tekhn. nauk [Studying the basics of sunflower storage and processing technology. Dr. Sci. (Technical) thesis]. Moscow, 1999. 60 p.
- Melekhina O.V., Lobanov V.G. Vliyanie lipidov pokrovnykh tkanei na kharakter protsessov v semenakh podsolnechnika pri samosogrevanii [Influence of lipids of integumentary tissues on the nature of processes in sunflower seeds during self-heating]. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya* [University news. Food technology], 1994, no. 1–2, pp. 23–24.
- Melekhina O.V. Vliyanie biologicheskikh osobennostei pokrovnykh tkanei semyan podsolnechnika na izmenenie ikh kachestva pri khraneni. Avtoref. kand. tekhn. nauk [Influence of biological characteristics of sunflower seed cover tissues on changes in their quality during storage. Abstract of Ph.D. (Technical) thesis]. Krasnodar, 1994. 22 p.
- Platonov P.N., Ivanov B.M. Davlenie zerna v silosakh [Grain pressure in silos]. In *Sovremennye problemy mekhaniki sypuchikh materialov* [Modern problems of mechanics of bulk materials]. Moscow, 1968, pp. 58–64.
- Romanova L.V., Sazykina N.A. pp.ravnitel'noe izuchenie semyan podsolnechnika vysokomaslichnykh sortov v svyazi s voprosami ikh khraneniya [Comparative study of sunflower seeds of high-oil varieties in connection with the issues of their storage]. *Trudy V.I.Zh* [VNIIZh Proceedings], 1959, vol. 19, pp. 5–17.
- Romanova L.V. pp.ravnitel'noe izuchenie osobennostei maslichnykh kul'tur, vliyayushchikh na

- ikh khranenie [Comparative study of the characteristics of oilseeds affecting their storage]. *Trudy V.I.Zh [VNIIZh Proceedings]*, 1967, vol. 24, pp. 5–21.
- Romanova L.V., Sazykina N.A. Vliyanie razlichnykh komponentov semennoi massy na ee stoikost' pri khranении [Influence of various components of the seed mass on its storage stability]. *Trudy V.I.Zh [VNIIZh Proceedings]*, 1961, vol. 22, pp. 52–64.
- Sirotsuka T., Togami T, pp.ovremennoe sostoyanie ekstragirovaniya zhidkostyami razlichnykh komponentov iz tverdykh chastits [Current state of liquid extraction of various components from solid particles]. *Kagakukogaku [Kagakukogaku]*, 1971, vol. 85, no. 6, pp. 612–618.
- Sharkov V.I., Dobun A.A. K voprosu o khimicheskoy sostave podsolnechnoy luzgi [To the question of the chemical composition of the solar plexus]. *Gidroliznaya i lesokhimicheskaya promyshlennost' [Hydrolysis and wood chemical industry]*, 1955, no. 3, pp. 43–56.
- Shcherbakov V.G., Lobanov V.G. Biokhimiya i tovarovedenie maslichnogo syr'ya [Biochemistry and commodity science of oilseeds]. Moscow: Kolos, 2012. 392 p.
- Shcherbakov V.G., Zhuravleva A.I., Lobanov V.G. Zhiznesposobnost' i kachestvo semyan podsolnechnika pri khranении [Viability of seeds and anti-radical activity of sunflower lipids during storage]. *Izvestiya vuzov Pishchevaya tekhnologiya [University news Food technology]*, 1974, no. 5, pp. 15–19.
- Shcherbakov V.G., Nadykta V.D. Zhiznesposobnost' semyan i antiradikal'naya aktivnost' lipidov podsolnechnika pri khranении [Viability and quality of sunflower seeds during storage]. *Izvestiya vuzov Pishchevaya tekhnologiya [University news Food technology]*, 1974, no. 4, pp. 19–21.
- Shcherbakov V.G., Il'in P.P., Zhuravlev A.I. Izmenenie statisticheskikh nagruzok v semennoi masse podsolnechnika [Changes in statistical loads in sunflower seed mass]. *Izvestiya vuzov Pishchevaya tekhnologiya [University news. Food technology]*, 1978, no. 5, pp. 173–174.
- Shcherbakov V.G., Lobanov V.G. Lokalizatsiya lipidov v tkanyakh semyan podsolnechnika [Localization of lipids in tissues of sunflower seeds]. *Izvestiya vuzov Pishchevaya tekhnologiya [University news Food technology]*, 1974, no. 3, pp. 145–147.
- Shcherbakov V.G., Kudinov P.I. Plodovaya obolochka vysokomaslichnykh podsolnechnykh semyan [Hull of high-oil sunflower seeds]. *Izvestiya vuzov Pishchevaya tekhnologiya [University news Food technology]*, 1967, no. 1, pp. 18–20.
- Shcherbakov V.G., Zhuravlev A.I. Ob usloviyakh khraneniya semyan podsolnechnika v elevatorakh silosnogo tipa [On the storage conditions of sunflower seeds in silo-type elevators]. *Izvestiya vuzov Pishchevaya tekhnologiya [University news Food technology]*, 1975, no. 1, pp. 55–58.
- Shcherbakov V.G., Shazo A.Y., Lobanov V.G. Teoreticheskie osnovy khraneniya i pererabotki semyan podsolnechnika [Theoretical foundations of storage and processing of sunflower seeds]. Moscow: Kolos, 2002. 596 p.
- Shcherbakov V.G., Lobanov V.G. Elektronnomikroskopicheskoe issledovanie produktov pererabotki podsolnechnika [Electron microscopic study of sunflower processing products]. *Maslozhirovaya promyshlennost' [Oil and fat industry]*, 1977, no. 8, pp. 14–16.
- Shorstkii I.A., Koshevoi E.P. Ekstraktsiya s nalozheniem impul'snogo elektricheskogo polya [Extraction with superimposed pulsed electric field]. *Izvestiya vuzov Pishchevaya tekhnologiya [University news Food technology]*, 2015, no. 4, pp. 40–42.

Технология получения гранул из шрота семян рапса с использованием двухступенчатого каскадного парокомпрессионного теплового насоса

Остриков Александр Николаевич

*ФГБОУ ВО Воронежский государственный университет инженерных технологий,
Адрес: 394036, Россия, г. Воронеж, пр-т Революции, д. 19
E-mail: ostrikov27@yandex.ru*

Шевцов Александр Анатольевич

*Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»
Адрес: 394064, Россия, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, д. 54а
E-mail: shevalol@rambler.ru*

Тертычная Татьяна Николаевна

*ФГБОУ ВО Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I,
Адрес: 394087, Россия, г. Воронеж, ул. Мичурина, д. 1
E-mail: tertychnaya777@yandex.ru*

Сердюкова Наталья Алексеевна

*Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»
Адрес: 394064, Россия, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, д. 54а
E-mail: nata29m@mail.ru*

Необходимость рационального и комплексного использования энергетических ресурсов и реализация решений по их экономии определяется снижением энергоемкости технологических процессов, что может быть обеспечено заменой невозобновляемых энергоресурсов возобновляемыми источниками энергии с применением теплонасосных технологий. В этой связи предложена энергосберегающая технология получения гранул из шрота семян рапса с использованием двухступенчатого каскадного парокомпрессионного теплового насоса для получения энергоносителей высокого и низкого температурного потенциала, обеспечивающего снижение удельных энергозатрат за счет максимальной рекуперации и утилизации отработанных теплоносителей в замкнутых термодинамических циклах. Процесс теплообмена происходит в двух контурах: в рециркуляционном контуре низкпотенциального теплоносителя, включающем подачу охлажденного воздуха из испарителя в воздушные охладители; в рециркуляционном контуре высокопотенциального теплоносителя, включающем подачу перегретого пара из конденсатора второй ступени в шнековый экструдер и рекуперативные теплообменники, барабанную сушилку-дезодоратор и десятичанный тостер; испарители; шротоловушку; вакуум-аппарат. Для каждого из двух рециркуляционных контуров выполнен эксергетический анализ. Предлагаемая технология позволяет снизить удельные энергозатраты на 12–15%, повысить экологическую безопасность на всех этапах технологического процесса, максимально снизить выброс отработанных теплоносителей в окружающую атмосферу.

Ключевые слова: тепловой насос, технология, гранулы, рапс, эксергия, анализ, тепловая эффективность.

Введение

Развитие альтернативной энергетики в технологических схемах генерации тепловой энергии связано с использованием тепловых насосов в различных отраслях промышленности и состав-

ляет основу современных исследований в области теплонасосных технологий (Алексеев, 2009; Горшков, 2004, С. 47–80; Калнинь, Легуенко, Проценко, Пустовалов, 2009, С. 25–30; Курнакова, 2018, с. 114–122; Подскребкин, 2016, с. 15–21; Chicherin, 2018, pp. 382–389; Chicherin, 2018, p. 603–614).

Перспективными являются теплонасосные установки со ступенчатым сжатием с каскадной схемой включения (Елистратов, 2007, С. 64–75; Елистратов, 2008, С. 28–33; Deng, Qingpeng, Mei, Shi, Hui, 2019, р. 172–186; Sayegh, Jadwyszczaka, Axccllb, Niemierkaa, Bryśc, Jouharab, 2018, р. 122–144; Абильдинова, Мусабеков, Расмухаметова, Чичерин, 2019, с. 293–302), которые обеспечивают высокую температуру теплоносителя в технологическом процессе. Повышение эффективности теплового насоса зависит от совершенства термодинамического цикла работы, выбора рабочих агентов и качественного функционирования на заданных температурных режимах при одновременной выработке теплоты и холода.

Возможности снижения термодинамических потерь в технологии комплексной переработки семян рапса в белоксодержащие продукты, гранулы и биодизельное топливо (Остриков, 2020, С. 252–261; Шевцов, Бунин, Ткач, Сердюкова, Фофонов, 2018, с. 60–64; Chicherin, 2018, р. 384–389; Vivian, Emmi, Zarrella, Jobard, Pietruschka, De Carli, 2018, р. 788–800) связаны с внедрением каскадных теплонасосных систем, когда возникает необходимость в одновременном получении высоко- и низкотемпературных энергоносителей для реализации тепловых процессов.^{1,2}

В этой связи сформулирована цель работы: разработка технологии получения гранул из шрота семян масличных культур с применением каскадного пароконденсационного теплового насоса (ПКТН) для получения энергоносителей разного температурного потенциала, обеспечивающего снижение удельных энергозатрат за счет максимальной рекуперации и утилизации отработанных теплоносителей в замкнутых термодинамических циклах. Полученные с минимальными энергетическими затратами кормовые гранулы из шрота семян рапса должны соответствовать требованиям ГОСТ 23513–79³.

Обоснование

Новая теплонасосная технология

Для реализации поставленной цели предложена технологическая схема производства гранул из шрота семян рапса (Рисунок 1), включающая

форпресс 1; воздушные охладители 2, 12; вальцовый станок 3; сепарирующую машину 4; плющильный станок 5; экстрактор вертикальный шнековый 6; вакуум-выпарной аппарат 7 с греющей камерой; теплообменники-рекуператоры 8, 27; 28; вакуум-насос 9; сборник сконденсированных паров гексана 10; шнековый экструдер 11 с греющей рубашкой; циклоны 13, 14; вытяжные 15, 16 и нагнетающий 17 вентиляторы; насос подача гексана 18; шнековый испаритель, включающий испарительные шнеки 19, 20, 21 и барабанную сушилку-дезодоратор 22; сухую шротоловушку 23 с греющей рубашкой; десятичанный тостер 24 с греющими элементами; мокрые шротоловушки 25, 26; ресивер 29; вентилятор паров гексана 30; вентилятор высокого давления перегретого пара 31; распределители потоков 32, 33, 34; двухступенчатый каскадный ПКТН, включающий компрессоры первой 35 и второй 36 ступени, испаритель первой ступени 37, конденсатор-испаритель 38, конденсатор второй ступени 39, терморегулирующие вентили первой 40 и второй 41 ступени, потоки.

Исходные семена масличных культур по потоку 1.0 подаются в форпресс 1, где из семян получают жмых и масло. Масло отводится на хранение по потоку 1.1, а жмых по потоку 1.2 направляется в воздушный охладитель 2, в котором жмых охлаждается в гравитационно-движущемся слое до температуры 16–18°C и по потоку 1.3 направляется в вальцовый станок 3. Измельченный жмых до фракции 2–4 мм по потоку 1.4 направляется в сепарирующую машину 4. В сепарирующей машине происходит отбор фракции нужного размера, с возвратом более крупных частиц по потоку 1.5 на доизмельчение.

В плющильном станке 5 из поступившего по потоку 1.6 измельченного жмыха получают фракцию в виде лепестка, которая по потоку 1.7 подается в загрузочную колонну вертикального шнекового экстрактора 6.

Одновременно в экстрактор насосом 18 по потоку 4.2 подается жидкий гексан, который перемещается в противотоке с экстрагируемым материалом. За счет разности концентрации масло из экстрагируемого материала переходит в гексан, образуя раствор масла в растворителе – мисцеллу, которая по потоку 4.0 из экстрактора 6 отводится в вакуум-выпарной аппарат 7.

¹ Способ управления процессом переработки масличных семян в биодизельное топливо: пат. 2693046 Рос. Федерация № 2018126879 / Шевцов А.А., Ткач В.В., Тертыхная Т.Н., Сердюкова Н.А.; заявл. 20.07.2018; опубл. 31.05.2019. Бюл. № 19.

² Способ управления процессом переработки масличных семян в биодизельное топливо: пат. 2693046 Рос. Федерация № 2018126879 / Шевцов А.А., Ткач В.В., Тертыхная Т.Н., Сердюкова Н.А.; заявл. 20.07.2018; опубл. 31.05.2019. Бюл. № 19.

³ ГОСТ 23513–79. Межгосударственный стандарт. Брикетты и гранулы кормовые. Технические условия [Электронный ресурс]. U.L. <http://docs.cntd.ru/document/gost-23513-79> (дата обращения: 10.10.2020).

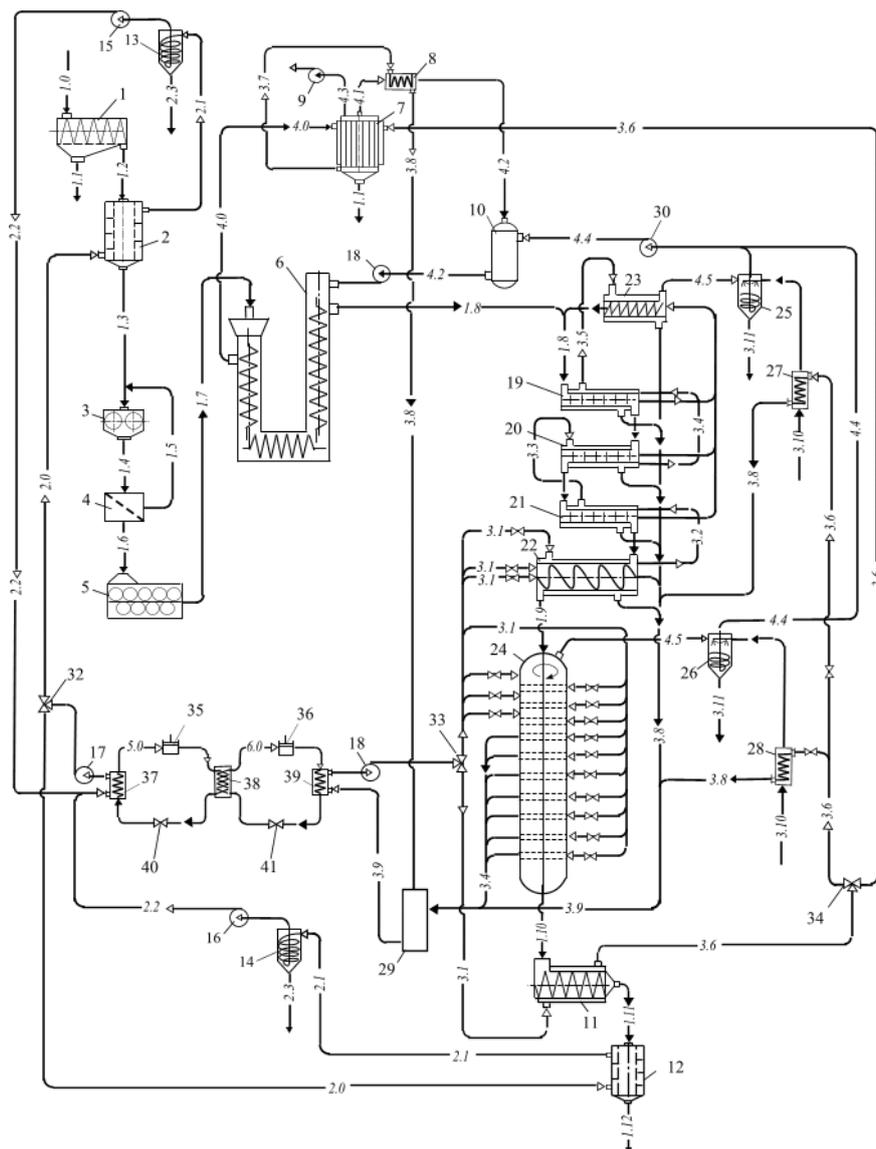


Рисунок 1. Технологическая схема получения гранул из шрота семян рапса с использованием двухступенчатого каскадного ПКТН

Источник: Способ производства пеллет из жмыха семян масличных культур и устройство для его осуществления: пат. 2721704 Рос. Федерация № 2019113592/ Тертычная Т.Н. Шевцов С.А., Ткач В.В., Сердюкова Н.А. заявл.30.04.19; опубл. 21.05.2020. Бюл. № 15.

Высокопотенциальный пар, подаваемый по потоку 3.6 в греющую камеру вакуум-выпарного аппарата 7, вызывает интенсивное кипение раствора масла в растворителе при температуре 85–90°C и пониженном давлении, создаваемым линией вакууммирования с вакуум-насосом 9. При этом из мисцеллы выделяется масло и отводится через нижнюю часть вакуум-выпарного аппарата по потоку 1.1, а пары кипящего гексана отводятся по потоку 4.1 в теплообменник-рекуператор 8, где они конденсируют при температуре 69–71°C и затем по потоку 4.2 отводятся в сборник конденсата гексана 10. Жидкий гексан из сборника 10 насосом 18 подаются в экстрактор 6 с образовани-

ем замкнутого цикла. Полученный в экстракторе 6 шрот по потоку 1.8 поступает в верхний испарительный шнек 19, в котором вращающийся вал с лопатками и лопастями обеспечивает перемешивание и перемещение шрота.

В испарительном шнеке шрот нагревается и по мере продвижения освобождается от растворителя. Пройдя последовательно все три испарительных шнека 19, 20, 21, шрот попадает в сушилку-дезодоратор 22, где он дополнительно нагревается и подсушивается. Необходимое количество теплоты шроту передается через паровую рубашку и паровой змеевик, в которые по пото-

кам 3.1 подается глухой пар, а также острый пар в рабочий объем сушилки-дезодоратора из конденсатора 39 второй ступени двухступенчатого парокompрессионного теплового насоса.

Поток паровой смеси, состоящий из паров растворителя и воды, а также с мелкими частицами шрота поступает в сухую шротоловушку 23 с обогревающей рубашкой. В результате снижения скорости движения газового потока часть частиц осаждается и с помощью шнека возвращается в испарительный шнек 19. Далее газовый поток 4.5 поступает в мокрую шротоловушку 25, где оставшаяся часть шрота улавливается распыливаемой через форсунки горячей водой с температурой 90–95°C, подаваемой по потоку 3.10. Такая температура воды необходима для конденсации паров растворителя, которые отводятся по потоку 4.4 с помощью вентилятора 30 в сборник гексана 10.

Шрот с содержанием гексана не более 0,2% и температурой 95–100°C из шнекового испарителя подается в десятичанный тостер 24. Испаряемые из шрота пары переходят из чана в чан и по потоку 4.5 отводятся на мокрое шротоулавливание и на конденсацию в шротоловушку 26, а крупные частицы, увлекаемые газовым потоком, осаждаются в верхней части тостера.

Готовый шрот с температурой 100–105°C и содержанием растворителя не более 0,05% по потоку 1.10 подается в шнековый экструдер с греющей рубашкой 11. В процессе экструзии температура обработки шрота достигает 180°C, что позволяет получить гранулы высокого качества с высокой прочностью. Гранулы охлаждаются в охладителе 12 и выводятся в качестве готового продукта. Отработанный пар после испарительных шнеков 19, 20, 21 и рекуперативных теплообменников 8, 27, 28 отводится по потокам 3.8 в ресивер 29.

Для получения перегретого пара, подаваемого в греющую рубашку шнекового экструдера 11, греющие элементы тостера 24 и рекуперативные теплообменники 27 и 28 для нагревания воды; подготовки охлажденного воздуха для охлаждения жмыха перед измельчением в вальцовом станке 3 и гранул после экструдера в воздушных охладителях 2 и 12 соответственно используется двухступенчатый каскадный ПКТН.

Хладагент первой ступени, в качестве которого применяется фреон R142b, сжимается компрессором первой ступени 35 и доводится до температуры конденсации 47–50°C, после чего

направляется по замкнутому контуру 5.0 в конденсатор-испаритель 38, в котором отдает тепло на кипение хладагента второй ступени, в качестве которого используется фреон R113. Затем хладагент первой ступени дросселируется в терморегулирующем вентиле 40 и поступает в испаритель первой ступени 37, в котором температура его кипения составляет минус 9,2°C, что позволяет довести температуру охлаждения воздуха до 14–16°C.

Пары хладагента второй ступени после конденсатора-испарителя 38 сжимаются компрессором второй ступени 36 и конденсируются в конденсаторе второй ступени 39 при температуре 190°C, что позволяет обеспечить подготовку перегретого пара с температурой 180°C, подаваемого в греющую рубашку шнекового экструдера 11. После конденсатора второй ступени 39 хладагент второй ступени дросселируется через терморегулирующий вентиль второй ступени 41, доводится до давления кипения, и по контуру рециркуляции 6.0 подается в конденсатор-испаритель 38 и кипит при температуре 47,6°C, после чего термодинамический цикл повторяется.

Отработанный высокопотенциальный пар с температурой 120–130°C после шнекового экструдера 11 направляется по потокам 3.6 в греющую камеру вакуум-выпарного аппарата 7 и в рекуперативные теплообменники 27 и 28. Низкопотенциальный пар после вакуум-выпарного аппарата 7 направляется по потоку 3.7 в рекуперативный теплообменник 8 с температурой 40–45°C на конденсацию паров гексана, и затем возвращается по потоку 3.8 в конденсатор второй ступени 39 с образованием контура рециркуляции. Охлажденный воздух с температурой 17–20°C нагнетающим вентилятором 15 по потокам 2.0 направляется в воздушные охладители 2 и 12 через распределитель потока 16 на охлаждение жмыха до температуры 16–18°C перед измельчением в вальцовом станке 3 и гранул до температуры 20–22°C после экструдера 11. Отработанный воздух по потокам 2.1 подается в циклон 13 для очистки от взвешенных частиц и по потоку 2.2 возвращается в испаритель 37 для охлаждения с последующим многократным использованием в контуре рециркуляции.

Параметры двухступенчатого каскадного ПКТН (Таблица 1) обеспечивали процессы теплообмена при заданных температурных режимах в двух контурах:

- в рециркуляционном контуре низкопотенциального теплоносителя, включающего подачу

Таблица 1
 Параметры двухступенчатого каскадного ПКТН

Рабочее тело первой ступени (хладагент)	Фреон R142b
Температурой кипения в испарителе первой ступени, °C	минус 9,2
Температура конденсации в конденсаторе-испарителе, °C	60
Холодопроизводительность, кВт	6,2
Компрессор первой ступени	ФВБС6
Мощность электродвигателя компрессора первой ступени, кВт	4,2
Рабочее тело второй ступени (хладагент)	Фреон R113
Температура кипения в конденсаторе-испарителе, °C	47,6
Температура конденсации в конденсаторе второй ступени, °C	190
Холодопроизводительность, кВт	11
Компрессор второй ступени	Comprag R.I.11-270
Мощность электродвигателя компрессора второй ступени, кВт	10

охлажденного воздуха из испарителя 37 в воздушные охладители 2 и 12;

- в рециркуляционном контуре высокопотенциального теплоносителя, включающего подачу перегретого пара из конденсатора второй ступени 39 в греющую рубашку шнекового экструдера 11 и рекуперативные теплообменники 27 и 28 для нагревания воды, греющую рубашку барабанной сушилки-дезодоратора 22 и греющие элементы десятичанного тостера 24; отвода отработанного пара из греющей рубашки барабанной сушилки-дезодоратора 22 через греющие рубашки испарительных шнеков 21, 20, 19 и сухой шротоловушку 23; подачи отработанного высокопотенциального теплоносителя из греющей рубашки экструдера 11 в греющую камеру вакуум-аппарата 7.

Производительность трубчатого конденсатора второй ступени с рабочей температурой конденсации 190°C позволяла подготовить перегретый пар с температурой 180°C для эффективной и сбалансированной реализации тепломассообменных и тепловых процессов: экстракции, выпаривания, экструзии, рекуперативного теплообмена.

Материалы и методы исследования

Метод определения эксергетических потоков

При математическом описании эксергетических потоков количество подведенной эксергии потоками теплоносителя к теплообменным поверхностям аппаратов в рециркуляционных контурах низкопотенциального и высокопотенциального теплоносителя определили по формуле (Абельдинова, Мусабеев, Расмухаметова, Чичерин, 2019, с. 293-302; Долинский, Драганов, Морозюк, 2007, с. 67-71; Елистратов, 2007, с. 72-78; Елистратов, 2007, с. 76-83; Алдажуманов, Ермоленко, Степанова, Тоимбаев, Должиков, 2015, с. 128-132; Мачевитый, Чиркин, Кузнецов, 2010, с. 42-51):

$$e_i = e_m + d_i = Q_i \left(1 - \frac{T_c}{T_i} \right) + Q_i \left(\frac{T_c}{T_i} - \frac{T_c}{T_{pi}} \right) = Q_i \left(1 - \frac{T_c}{T_{pi}} \right), \quad i = (1,7), \quad (1)$$

где e_i – эксергия потока теплоносителя; d_i – потери энергии при передаче теплоты от теплоносителя к теплообменной поверхности i -го аппарата; Q_i –

плодопроизводительность i -го аппарата, кВт; \bar{T}_i, \bar{T}_{pi} – соответственно средние температуры теплообменной поверхности и теплоносителя в рабочем объеме i -го аппарата, К; T_c – средняя температура окружающей среды, К.

Средняя температура теплоносителя в рабочем объеме i -го аппарата определялась по следующим формулам:

- для охлажденного воздуха в рециркуляционном контуре низкопотенциального теплоносителя:

$$\bar{T}_{ni} = \bar{T}_{n.i} + \Delta \bar{T}_{n.i} = \bar{T}_{cp.n} + \frac{H_{e1}}{\rho_e c_e \eta_{n.e} \eta_{n.дe}} - \Delta T_{n.i}, \quad i = (1,2) \quad (2)$$

- для перегретого пара в рециркуляционном контуре высокопотенциального теплоносителя:

$$\bar{T}_{ei} = \bar{T}_{e.i} + \Delta \bar{T}_{e.i} = \bar{T}_{cp.e} + \frac{H_{e2}}{\rho_n c_n \eta_{e.e} \eta_{e.дe}} - \Delta T_{e.i}, \quad i = (1,5) \quad (3)$$

где $\Delta T_{ni}, \Delta T_{ei}$ – логарифмический температурный напор на теплообменной поверхности i -го аппа-

рата в рециркуляционном контуре соответственно низкопотенциального и высокопотенциального теплоносителя; $T_{ср.н}$, $T_{ср.в}$ – температура рабочей среды в i -ом аппарате в рециркуляционном контуре соответственно низкопотенциального и высокопотенциального теплоносителя, К; $H_{в1}$, $H_{в2}$ – напоры создаваемые вентиляторами 17 и 18, м вод. ст.; $\rho_{в}$, $\rho_{п}$ – плотность (кг/м^3) и $c_{в}$, $c_{п}$ – теплоемкость ($\text{кДж/(кг}\cdot\text{К)}$) охлажденного воздуха в испарителе низкого давления 37 и перегретого пара в конденсаторе высокого давления 39 соответственно; $\eta_{н.в}$, $\eta_{в.в}$ – КПД вентиляторов 17, 18; $\eta_{н.дв}$, $\eta_{в.дв}$ – КПД двигателей вентиляторов (с учетом КПД передачи) в рециркуляционном контуре соответственно низкопотенциального и высокопотенциального теплоносителя.

Методический подход к расчету эксергетической производительности

Выражения (2–3) использованы для определения приведенной эксергетической производительности ступеней ПКТН:

- в ступени низкого давления для использования в рециркуляционном контуре низкопотенциального теплоносителя:

$$e_{н.д} = \frac{e_k}{\left(1 - \frac{T_c}{T_b}\right)} \left(1 - \frac{T_c}{T_b + \frac{H_{в1}}{\rho_{в} c_{в} \eta_{в.н} \eta_{дв.н}} + \Delta T_{н.и}} \right) \times \left[1 - \frac{H_{в1}}{\rho_{в} c_{в} \Delta T_{н.и} \eta_{в.н} \eta_{дв.н} + H_{в1}} \right], \quad (4)$$

- в ступени высокого давления для использования в рециркуляционном контуре высокопотенциального теплоносителя:

$$e_{в.д} = \frac{e_k}{\left(1 - \frac{T_c}{T_{п}}\right)} \times \left(1 - \frac{T_c}{T_{п} + \frac{H_{в2}}{\rho_{п} c_{п} \eta_{в.в} \eta_{дв.в}} + \Delta T_{п}} \right) \times \left[1 - \frac{H_{в2}}{\rho_{п} c_{п} \Delta T_{п} \eta_{в.в} \eta_{дв.в} + H_{в2}} \right], \quad (5)$$

где $e_{н.д}$, $e_{в.д}$ – приведенная эксергетическая производительность 1 (низкого давления) и 2 (высокого давления) ступени теплового насоса.

Отсюда определяется суммарная приведенная эксергетическая производительность:

$$\Sigma e = e_{н.д} + e_{в.д}. \quad (6)$$

Для решения уравнений (1–6) задавались следующие исходные величины: $Q_{н.д}$, $Q_{в.д}$ – холодопроизводительность испарителя 1 ступени низкого давления и теплопроизводительность конденсатора 2 ступени высокого давления каскадного ПКТН, Дж/с; T_i , T_c , $T_{в}$, T_n – температура в i -ом аппарате, окружающей среды, охлажденного воздуха в рециркуляционном контуре низкопотенциального теплоносителя, перегретого пара в рециркуляционном контуре высокопотенциального теплоносителя, К; $\Delta T_{в}$ – переохлаждение хладагента, К; ΔT_n – перегрев хладагента, К.

Оценка эксергетической эффективности

Эксергетический КПД теплового насоса вычисляли по формуле:

$$\eta = e_o + e_{п}, \quad (7)$$

где $e_o = e_{в} + e_{вп}$ – сумма отведенной от теплового насоса эксергии; $e_{п} = e_{н} + e_{э}$ – сумма подведенной к теплому насосу эксергии; $e_{в}$ – удельная эксергия, отведенная нагреваемой средой от конденсатора теплового насоса; $e_{вп}$ – удельная эксергия, отведенная нагреваемой средой от переохладителя теплового насоса; $e_{н}$ – удельная эксергия подведенная к испарителю низкопотенциальным источником теплоты; $e_{э}$ – удельная эксергия электрической энергии, подведенная к компрессору на привод теплового насоса.

Энергетическую эффективность теплового насоса оценивали по значениям коэффициента преобразования ϕ и коэффициента термотрансформации μ , которые выразили через эксергетический КПД. $\eta_{в}$, температуру высокопотенциального источника тепла $T_{п}$, температуру потребления для каждого аппарата T_i и температуру окружающей среды T_c (Алексеев, 2009; Бритиков, Шевцов, 2012):

$$\phi = \eta_{в} \frac{T_i}{T_i - T_c}, \quad (8)$$

$$\mu = \eta_{в} \frac{(T_{п} - T_c) \cdot T_i}{(T_i - T_c) \cdot T_{п}} \quad (9)$$

Выполнена оценка внешних и внутренних потерь эксергии в аппаратах, объединенных в контрольные поверхности, (Остриков, 2020, с. 252–261; Калниль, 2006, с. 16–24; Закиров, Мухамедшин, Николаев, Файзрахманов, Рюмкин, 2018, с. 85–90)

и эксергетических КПД элементов двухступенчатого каскадного ПКТН.

В качестве исходных параметров окружающей среды приняты $T_c = 293 \text{ K}$ и $P_c = 100 \text{ кПа}$.

Для предлагаемой схемы термодинамического цикла ПКТН определены:

– потери эксергии:

$$\Sigma d = d_{\text{пр}} + d_{\text{конд}} + d_{\text{конд-испар}} + d_{\text{испар}} + d_{\text{дрос1}} + d_{\text{дрос2}} + \Sigma d_i + d_{\text{окр}}, \quad (10)$$

где $d_{\text{пр}}$, $d_{\text{конд}}$, $d_{\text{конд-испар}}$, $d_{\text{испар}}$, $d_{\text{дрос1}}$, $d_{\text{дрос2}}$, d_i , $d_{\text{окр}}$ – потери эксергии в приводах компрессоров теплонасосной установки, конденсаторе, испарителе, дросселирующем вентиле, i -ом аппарате, в окружающую среду;

– суммарные внутренние потери эксергии:

$$\Sigma d_{\text{внутр}} = \Sigma d_i - d_{\text{внешн}}, \quad (11)$$

– эксергетический КПД

$$\eta_{\text{В}}^{\text{ТН}} = \frac{e_{\text{ВЫХ}}}{e_{\text{ВХ}}} = (e_{\text{ВХ}} - \Sigma d_i) / e_{\text{ВХ}} \text{ ИЛИ} \quad (12)$$

$$\eta_{\text{В}}^{\text{ТН}} = \frac{q_{\text{к}} \cdot \tau_{\text{И}}^q + q_{\text{ок}} \cdot \tau_{\text{Ф}}^q}{\frac{l_{\text{д}}}{\eta_{\text{ЭЛ.ДВ}}} + q_{\text{и}} \cdot \tau_{\text{с}}}$$

где $e_{\text{ВХ}}$ и $e_{\text{ВЫХ}}$ – соответственно удельные значения эксергии на входе и выходе; $q_{\text{к}}$, $q_{\text{ок}}$, $q_{\text{и}}$ и $l_{\text{д}}$ – соответственно удельная теплота конденсации, охлаждения конденсата, испарения и удельная работа сжатия в цикле; $\tau_{\text{к}}^q$, $\tau_{\text{ок}}^q$ и $\tau_{\text{и}}^q$ – эксергетические температурные функции; $\eta_{\text{ЭЛ.ДВ}}$ – КПД приводов компрессоров.

Результаты и их обсуждение

По экспериментальным данным выполнен термодинамический расчет энергетических характеристик двухступенчатого каскадного ПКТН (Рисунок 2) для хладагентов R142b и R113.

Построены термодинамические циклы компрессоров ПКТН (Рисунок 2) и выполнен термодинамический расчет энергетических характеристик для рабочих агентов R142b и R113 (Таблица 2). Регулируемое переохлаждение жидких хладагентов в ступенях ПКТН является обязательным условием для обеспечения режима конденсации и эксплуатационной надежности, а также повышения эксергетического КПД.

При средней тепловой нагрузке 282 кДж и 395 кДж, степени сжатия 27,5 и 14,4; коэффициенте преобразования теплоты 3,2 и 3,5 и коэффициенте преобразования электроэнергии 2,2 и 2,5; удельном расходе электроэнергии на производство тепловой энергии 1,15 и 1,28 в ступенях низкого и высокого давления ПКТН соответственно, эксергетический К.Д. составил в среднем 0,14.

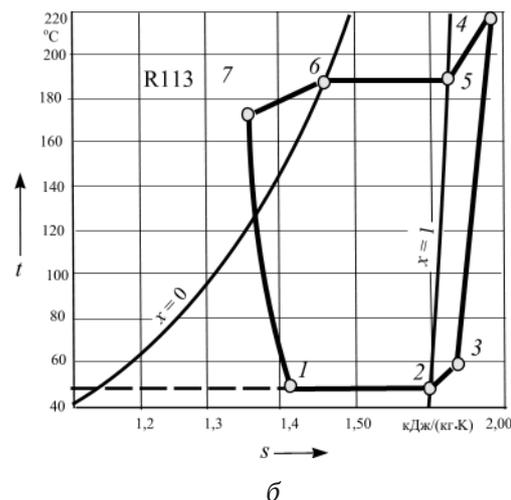
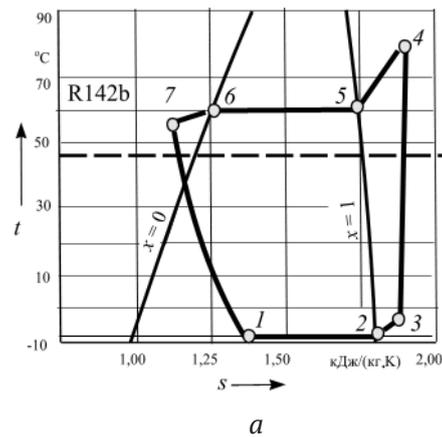


Рисунок 2. Термодинамические циклы каскадного теплового насоса: а – ступень низкого давления; б – ступень высокого давления; 1–2 – отбор теплоты от охлаждаемых сред (воздуха – для ступени низкого давления; хладагента R113 – для ступени высокого давления) при парообразовании (кипении) хладагентов в испарителе 37 и конденсаторе-испарителе 38 при постоянном давлении соответственно; 2–3 – отбор теплоты от охлаждаемой среды при перегреве газообразных хладагентов в испарителе и испарителе-конденсаторе; 3–4 – сжатие хладагентов в компрессорах 35, 36; 4–5 – снятие перегрева хладагента R142b в конденсаторе-испарителе 37 и хладагента R113 в конденсаторе 38; 5–6 – конденсация хладагентов; 6–7 – переохлаждение хладагентов; 7–1 – дросселирование хладагентов через ТРВ.

Таблица 2

Результаты расчета термодинамических циклов работы двухступенчатого каскадного ПКТН

Хладагент	Степень низкого давления			Степень высокого давления		
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 1	№ 2	№ 3
	R142b	R142b	R142b	R113	R113	R113
Удельная тепловая нагрузка $q_{гн}$, кДж/кг	283,6	282,4	280,85	395,28	393,73	394,85
Степень сжатия в ступенях	28,48	27,35	27,12	13,33	14,38	13,38
Коэффициент преобразования теплоты	2,91	3,24	3,23	3,36	3,68	3,51
Коэффициент преобразования электроэнергии μ ,	1,98	2,14	2,16	2,41	2,52	2,53
Удельный расход электроэнергии на производство тепловой энергии, кВт/кДж	1,19	1,14	1,10	1,34	1,28	1,26
Эксергетический КПД	0,14	0,13	0,14	0,14	0,13	0,14

Затраты электрической энергии на привод двигателей компрессоров двухступенчатого каскадного ПКТН зависят от расходов высоко- и низкотемпературных теплоносителей, что непосредственно связано с источниками низкопотенциальной и высокопотенциальной теплоты, вырабатываемой в испарителе ступени низкого давления и конденсаторе ступени высокого давления, площади теплообменных поверхностей и, как следствие, с температурными режимами теплотехнологических процессов в аппаратах предлагаемой технологии.

Выводы

Использование двухступенчатого каскадного ПКТН при подготовке перегретого пара и холодного воздуха в технологии получения гранул из семян рапса позволяет эффективно использовать электроэнергию, тем самым снизить энергозатраты на 15–20% с 25–27 кВт×ч до 22–23 кВт×ч на 1 тонну получаемых гранул; повысить экологическую безопасность на всех этапах технологического процесса; максимально снизить выброс отработанных теплоносителей в окружающую атмосферу.

Полученные с минимальными энергетическими затратами кормовые гранулы из шрота семян рапса соответствовали требованиям государственного стандарта (ГОСТ 23513–79 Брикеты и гранулы кормовые. Технические условия).

Литература

Абильдинова С.К., Мусабеков Р.А., Расмухаметова А.С., Чичерин С.В. Оценка энергетической эффективности цикла теплового насоса со ступенчатым сжатием // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2019. Т. 62, № 3. с. 293–302. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2019-62-3-293-302>

Алексеев С.В. Исследования и разработки СО РАН в области энергоэффективных технологий. Новосибирск: Наука, 2009. 405 с.

Бритиков Д.А., Шевцов А.А. Энергосбережение в процессах сушки зерновых культур с использованием теплонасосных технологий: монография. М.: ДеЛи плюс, 2012. 328 с.

Горшков В.Г. Тепловые насосы. Аналитический обзор // Справочник промышленного оборудования ВВТ. 2004. № 2. с. 47–80.

Долинский А.А., Драганов Б.Х., Морозюк Т.В. Альтернативное теплоснабжение на базе тепловых насосов: критерии оценки // Промышленная теплотехника. 2007. № 6. с. 67–71.

Елистратов С.Л. Оценка границ технико-экономической эффективности применения тепловых насосов // Вестник ЮУрГУ. Серия: Энергетика. 2009. № 15. с. 72–78.

Елистратов С.Л., Накоряков В. Е. Передовые схемные решения теплонасосных установок // Известия Вузов. Серия: Проблемы энергетики. 2007. № 11–12. с. 64–75.

Елистратов С.Л., Накоряков В.Е. Энергетическая эффективность комбинированных отопительных установок на базе тепловых насосов с электроприводом // Промышленная энергетика. 2008. № 3. с. 28–33.

Елистратов С.Л., Накоряков В.Е. Экологические аспекты применения парокомпрессионных тепловых насосов // Известия РАН Серия: Энергетика. 2007. № 4. с. 76–83.

Закиров Д.Г., Мухамедшин М.А., Николаев А.В., Файзрахманов Р.А., Рюмкин А.А. Разработка и внедрение технологий использования низкопотенциального тепла тепловыми насосами // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2019. Т. 62, № 3. с. 293–302. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2019-62-3-293-302>

- Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2018. Т. 94, № 1. с. 85–90.
- Алдажуманов Ж.К., Ермоленко М.В., Степанова О.А., Тоимбаев А.Б., Должиков С.А. Исследование работы теплового насоса с регенеративным теплообменником на основе эксергетического анализа // Молодой ученый. 2015. № 10(90). с. 128–132.
- Калнинь И.М., Фадеков К.Н. Оценка эффективности термодинамических циклов парокомпрессионных холодильных машин и тепловых насосов // Холодильная техника. 2006. № 3. С. 16–24.
- Курнакова Н.Ю., Нуждин А.В., Волхонский А.А. О возможности повышения энергоэффективности тепловой схемы Т.С.с применением теплового насоса // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22, № 7. с. 114–122.
- Мацевитый Ю.М., Чиркин Н.Б., Кузнецов М.А. Термоэкономический анализ теплонасосной системы теплоснабжения // Проблемы машиностроения. 2010. Т. 13, № 1. с. 42–51.
- Остриков А.Н., Шевцов А.А., Тертычная Т.Н., Сердюкова Н.А. Эксергетический анализ технологии получения биодизельного топлива из рапсового масла // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2020. Т. 82, № 1. с. 252–261. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-1-252-261>
- Подскребкин А.Д., Дягелев В.Ф. Опыт использования тепловых насосов в мире и России // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2016. № 4. с. 15–21.
- Калнинь И.М., Легуенко С.К., Проценко В.П., Пустовалов С.Б., Савицкий И.А. Теплонасосная технология в решении крупномасштабных задач теплофикации с использованием низкопотенциальной теплоты энергоисточников // Энергосбережение и водоподготовка. 2009. № 5(61). с. 25–30.
- Шевцов А.А., Бунин Е.С., Ткач В.В., Сердюкова Н.А., Фофонов Д.И. Эффективное внедрение парокомпрессионного теплового насоса в линию комплексной переработки семян масличных культур // Хранение и переработка сельхозсырья. 2018. № 1. с. 60–64.
- Chicherin S. Low-temperature district heating distributed from transmission-distribution junctions to users: energy and environmental modelling // Energy Procedia. 2018. Vol. 147. P. 382–389. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.07.107>
- Chicherin S.V. Comparison of a district heating system operation based on actual data – Omsk City, Russia, Case Study // International Journal of Sustainable Energy. 2018. Vol. 38, no. 6. P. 603–614. <https://doi.org/10.1080/14786451.2018.1548466>
- Deng J. Qingpeng W., Mei L., Shi H., Hui Z. Does heat pumps perform energy efficiently as we expected: field tests and evaluations on various kinds of heat pump systems for space heating // Energy and Buildings. 2019. Vol. 182. P. 172–186. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.10.014>
- Sayegh M.A. Jadwyszczaka P., Axcellb B.P., Niemierkaa E., Bryśc K., Jouharab H. Heat pump placement, connection and operational modes in european district heating // Energy and Buildings. 2018. Vol. 166. P. 122–144. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.02.006>
- Vivian J., Emmi G., Zarrella A., Jobard X., Pietruschka D., De Carli M. Evaluating the cost of heat for end users in ultra low temperature district heating networks with booster heat pumps // Energy. 2018. Vol. 153. P. 788–800. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.04.081>

Technology of Obtaining Pellets from Canola Seed Using a Two-Stage Cascading Vaporcompression Heat Pump

Alexander N. Ostrikov

*Voronezh state University of engineering technologies
19, Prospect Revolution, Voronezh, Russian Federation, 394036
E-mail: ostrikov27@yandex.ru*

Alexander A. Shevtsov

*Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education «Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy»
54 «A», Starykh Bolshevikov St., Voronezh, Russian Federation, 394064
E-mail: shevalol@rambler.ru*

Tatyana N. Tertychnaya

*Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great
1, Michurin St., Voronezh, Russian Federation, 394087
E-mail: tertychnaya777@yandex.ru*

Natalya A. Serdyukova

*Federal State Official Military Educational Institution of Higher Education «Military Educational and Scientific Centre of the Air Force N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy»
54 «A», Starykh Bolshevikov St., Voronezh, Russian Federation, 394064
E-mail: nata29m@mail.ru*

The need for rational and integrated use of energy resources and the implementation of solutions to save them is determined by a decrease in the energy intensity of technological processes, which can be provided by replacing non-renewable energy resources with renewable energy sources using heat pump technologies. An energy-saving technology for producing pellets from oilseed cake using a two-stage steam compression heat pump to obtain energy carriers of different temperature potentials, which reduces specific energy consumption due to maximum recovery and disposal of waste heat carriers in closed thermodynamic cycles, was developed in the article. The heat exchange process occurs in two circuits: in the recirculation circuit of a low-grade heat carrier, including the supply of cooled air from the evaporator to the air coolers; in the recirculation circuit of the high-potential heat carrier, including the supply of superheated steam from the second-stage condenser to the screw extruder and recuperative heat exchangers, a tumble dryer and decanter, and a ten-tank toaster; evaporators; oilseed meal trap; vacuum apparatus. An exergy analysis was performed for each of the two recirculation circuits, and the functional dependences of the exergy flows exiting the technological equipment in question on the acting variables were obtained. Feed pellets from rapeseed, obtained with minimal energy consumption meet the requirements of National Standard 23513–79. The proposed technology for producing pellets from rapeseed allowed to reduce specific energy consumption by 12–15%; increase environmental safety at all stages of the technological process, minimize the emission of waste heat carriers into the atmosphere.

Keywords: heat pump, technology, pellets, rapeseed, exergy, analysis, thermal efficiency.

References

Abil'dinova S.K., Musabekov R.A., Rasmukhametova A.S., Chicherin S.V. Otsenka energeticheskoi effektivnosti tsikla teplovogo nasosa so stupenchatym szhatiem [Assessment of the energy efficiency of the heat pump cycle with step compression].

Energetika. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii i energeticheskikh ob»edineii S.G. [Energy. News of higher educational institutions and energy associations of the UIS, 2019, vol. 62, no. 3, pp. 293–302. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2019-62-3-293-302>]
Alekseenko S.V. Issledovaniya i razrabotki SO RAN v oblasti energoeffektivnykh tekhnologii [Research

- and development of SB RAS in the field of energy efficient technologies]. Novosibirsk: Nauka, 2009. 405 p.
- Britikov D.A., Shevtsov A.A. Energoberezhenie v protsessakh sushki zernovykh kul'tur s ispol'zovaniem teplonasosnykh tekhnologii [Energy saving in grain drying processes using heat pump technologies: monograph]. Moscow: D.L. plyus, 2012, 328 p.
- Gorshkov V.G. Teplovye nasosy. Analiticheskii obzor [Heat pump. Analytical review]. *Spravochnik promyshlennogo oborudovaniya V.T.* [Handbook of industrial weapons and military equipment], 2004, no. 2, pp. 47–80.
- Dolinskii A.A., Draganov B.K., Morozyuk T.V. Al'ternativnoe teplo-snabzhenie na baze teplovykh nasosov: kriterii otsenki [Alternative heat supply based on heat pumps: evaluation criteria]. *Promyshlennaya teplotekhnika* [Industrial thermotechnics], 2007, no. 6, pp. 67–71.
- Elistratov S.L. Otsenka granits tekhniko-ekonomicheskoi effektivnosti primeneniya teplovykh nasosov [Assessment of the boundaries of technical and economic efficiency of heat pumps]. *Vestnik Y.U.GU* [Bulletin Of S.S.], 2009, no. 15, pp. 72–78.
- Elistratov S.L., Nakoryakov V. E. Peredovye skhemnye resheniya teplona-sosnykh ustanovok [Advanced circuit solutions for heat pump installations]. *Izvestiya Vuzov* [News Of Universities], 2007, no. 11–12, pp. 64–75.
- Elistratov S.L., Nakoryakov V.E. Energeticheskaya effektivnost' kombinirovannykh otopitel'nykh ustanovok na baze teplovykh nasosov s elektroprivodom [Energy efficiency of combined heating installations based on electric heat pumps]. *Promyshlennaya energetika* [Industrial power engineering], 2008, no. 3, pp., 28–33.
- Elistratov S.L., Nakoryakov V.E. Ekologicheskie aspekty primeneniya parokompressionnykh teplovykh nasosov [Environmental aspects of the use of steam compression heat pumps]. *Izvestiya R.N.* [Izvestiya RAS], 2007, no. 4, pp. 76–83.
- Zakirov D.G., Mukhamedshin M.A., Nikolaev A.V., Faizrahmanov R.A., Ryumkin A.A. Razrabotka i vnedrenie tekhnologii ispol'zovaniya nizkopotentsial'nogo tepla teplovymi nasosami [Development and implementation of technologies for using low-potential 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], 2018, vol. 94, no. 1, pp. 85–90.
- Aldazhumanov Zh.K., Ermolenko M.V., Stepanova O.A., Toimbaev A.B., Dolzhikov S.A. Issledovanie raboty teplovogo nasosa s regenerativnym teploobmennikom na osnove eksergeticheskogo analiza [Assessment of the energy efficiency of the heat pump cycle with step compression]. *Molodoi uchenyi* [Molodoj uchenyi], 2015, no. 10(90), pp. 128–132.
- Kalnin' I.M., Fadekov K.N. Otsenka effektivnosti termodinamicheskikh tsiklov parokompressionnykh kholodil'nykh mashin i teplovykh naso-sov [Evaluation of the efficiency of thermodynamic cycles of steam compression refrigerating machines and heat pumps]. *Kholodil'naya tekhnika* [Refrigeration equipment], 2006, no. 3, pp. 16–24.
- Kurnakova N.Y., Nuzhdin A.V., Volkhonskii A.A. O vozmozhnosti povysheniya energoeffektivnosti teplovoi skhemy T.S.s primeneniem teplovogo nasosa [About the possibility of improving the energy efficiency of the thermal scheme of a H.S.using a heat pump]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Irkutsk State Technical University Bulletin], 2018, vol. 22, no. 7, pp. 114–122.
- Matsevityi Yu.M., Chirkin N.B., Kuznetsov M.A. Termoeconomicheskii analiz teplonasosnoi sistemy teplosnabzheniya [Thermoeconomical analysis of the heat pump system of heat supply]. *Problemy mashinostroeniya* [Mechanical engineering problems], 2010, vol. 13, no. 1, pp. 42–51.
- Ostrikov A.N., Shevtsov A.A., Tertychnaya T.N., Serdyukova N.A. Eksergeticheskii analiz tekhnologii polucheniya biodizel'nogo topliva iz rapsovogo masla [Exergetic analysis of biodiesel production technology from rapeseed oil]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii* [Voronezh State University of Engineering Technologies Bulletin]. 2020, vol. 82, no. 1, pp., 252–261. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-1-252-261>
- Podskrebkin A.D., Dyagelev V.F. Opyt ispol'zovaniya teplovykh nasosov v mire i Rossii [Experience in using heat pumps in the world and Russia]. *Sovremennaya nauka: aktual'nye problemy teorii i praktiki, pp.eriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Modern science: actual problems of theory and practice. Series: Natural and technical Sciences. Publishing house. Scientific technology], 2016, no. 4, pp. 15–21.
- Kalnin' I.M., Leguenko S.K., Protsenko V.P. Pustovalov S.B., Sa-vitskii I.A. Teplonasosnaya tekhnologiya v reshenii krupnomasshtabnykh zadach teplofikatsii s ispol'zovaniem nizkopotentsial'noi teploty energoistochnikov [Evaluation of the efficiency of thermodynamic cycles of steam compression refrigerating machines and heat pumps]. *Energoberezhenie i vodopodgotovka* [Refrigeration equipment], 2009, no. 5(61), pp., 25–30.

- Shevtsov A.A., Bunin E.S., Tkach V.V., Serdyukova N.A., Fofonov D.I. Effektivnoe vnedrenie parokompresionnogo teplovogo nasosa v liniyu kompleksnoi pererabotki semyan maslichnykh kul'tur [Effective implementation of a steam compression heat pump in the line of complex processing of oilseeds]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and processing of farm products], 2018, no. 1, pp. 60–64.
- Chicherin S. Low-Temperature District Heating Distributed from Transmission-Distribution Junctions to Users: Energy and Environmental Modelling. *Energy Procedia*, 2018, vol. 147, pp. 382–389. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2018.07.107>
- Chicherin S.V. Comparison of a District Heating System Operation Based on Actual Data – Omsk City, Russia, Case Study. *International Journal of Sustainable Energy*, 2018, vol. 38, no. 6, pp. 603–614. <https://doi.org/10.1080/14786451.2018.1548466>
- Deng J. Qingpeng W., Mei L., Shi H., Hui Z. Does Heat Pumps Perform Energy Efficiently as We Expected: Field Tests and Evaluations on Various Kinds of Heat Pump Systems for Space Heating. *Energy and Buildings*, 2019, vol. 182, pp. 172–186. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.10.014>
- Sayegh M.A. Jadwyszczaka P., Axcellb B.P., Niemierkaa E., Bryśc K., Jouharab H. Heat Pump Placement, Connection and Operational Modes in European District Heating. *Energy and Buildings*, 2018, vol. 166, pp. 122–144. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.02.006>
- Vivian J., Emmi G., Zarrella A., Jobard X., Pietruschka D., De Carli M. Evaluating the Cost of Heat for End Users in Ultra Low Temperature District Heating Networks with Booster Heat Pumps. *Energy*, 2018, vol. 153, pp. 788–800. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.04.081>

Современные способы использования хмелепродуктов в пивоварении

Гернет Марина Васильевна

*Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН г. Москва
Адрес: 119021, Россия, город Москва, улица Россолимо, д.7.
E-mail: institut-beer@mail.ru*

Грибкова Ирина Николаевна

*Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН г. Москва
Адрес: 119021, Россия, город Москва, улица Россолимо, д.7.
E-mail: institut-beer@mail.ru*

Статья посвящена анализу мировых тенденций в области использования хмеля с различными органолептическими и физико-химическими свойствами, а также продуктов переработки хмеля, что актуально вследствие отсутствия подобного опыта в отечественной отрасли. Представленное аналитическое исследование преследовало цель теоретически обосновать и осуществить поиск основных направлений в развитии технологии переработки хмелепродуктов, а также выявить достоинства и недостатки при использовании в пивоварении. Анализ изученных научных данных показал, что в отрасли применяются различные виды хмеля – начиная с генномодифицированных с различными уровнями ароматических и горьких веществ, так и различными фруктовыми, цветочными и травяными ароматами, что расширяет ассортимент выпускаемой пивоваренной продукции. Выявлено множество патентов, связанных с технологией изомеризованных экстрактов, а также иных продуктов переработки хмеля и его отходов. Основное заключение, которое последовало за анализом выявленной научной литературы, это то, что инновационные разработки различных стран мира, в основном, США и Европы, направлены на получение растворимых экстрактов, обогащенных определенным соединением, которое обеднено по составу по сравнению с хмелем и требует внесения дополнительных продуктов переработки хмеля. С другой стороны, исследователи пытаются сократить потери от утилизации хмелевой дробины и используют ее для извлечения полезных соединений, которые в ней остались после использования. Основным выводом представляемого аналитического обзора является необходимость грамотного сочетания в применении традиционного хмеля и новых видов сырья, представленных на рынке пивоваренной отрасли.

Ключевые слова: сорта хмеля, ароматика, состав хмеля, горькие смолы хмеля, α -кислота, β -кислоты, производство хмелепродуктов

Введение

В последнее время рынок пивоваренной продукции изменил свою структуру. Аналитики отмечают, что российский рынок пива становится многообразнее как в плане ценовых различий, вкусовых предпочтений, происходят отклонения потребительского спроса в сторону слабоалкогольного пива и т.п., в связи с чем сокращаются доли массовых брендов и сортов и увеличива-

ется количество небольших и оригинальных, производимых крафтовыми пивоварнями и другими представителями малого и среднего бизнеса¹.

Известно, что вкус пива обуславливается тем сырьем, что используется в технологии конкретного сорта, а также биотехнологическими трансформациями, которые преобразовывают основные соединения в ходе технологического процесса под

¹ Россия: рынок пива усложняется // Пивное дело. 2019. № 2. с. 1–45. U.L. <https://pivnoe-delo.info/2019/05/20/pivnoe-delo-2-2019-rossiya-rynok-piva-uslozhnyaetsya/> (дата обращения: 13.08.2020).

Таблица 1
Объемы производства хмеля в мире

Части света	Страна	Величина посевных площадей, тыс. га	Производство, тыс. т
Европа	Германия	17,9	28,3
	Чешская республика	4,6	4,8
	Польша, Словения	1,4	1,7-2,2
	Англия, Испания, Франция	0,4-0,9	0,6-1,4
	Румыния, Бельгия, Австрия, Словакия, Турция	0,1-0,3	0,1-0,3
	Швейцария, Португалия, Болгария	0,01	0,02-0,03
	Беларусь	0,06	0,05
	Россия	0,2	0,2
	Общее содержание	29,0	41,7
Азия	Китай	2,3	5,9
	Япония	0,1	0,3
	Общее содержание	2,5	6,2
Африка	Общее содержание	0,4	0,8
Океания	Австралия	0,5	1,2
	Новая Зеландия	0,4	0,4
Америка	США	18,5	36,4
	Аргентина	0,1	0,2
	Канада	0,1	0,1
	Общее содержание	18,8	26,7

Источник: Sharp D.C. Factors that Influence the Aroma and Monoterpene Alcohol Profile of Hopped Beer: PhD Sci. (Food science and technology) thesis. Oregon, 2016. 219 p.

воздействием биологических (микроорганизмы) и технологических (перемешивание, аэрация, градиент температуры, давления, нюансы аппаратного оформления) параметров. В классическом варианте, вкус пива регулировался за счет сочетания различных типов солода, реже – за счет применяемых микроорганизмов, а также варьированием физическими параметрами брожения (Da Silva G.C., Da Silva, A.A.S., Da Silva, L.S.N., De O.G.doy, Nogueira, Quitério, Raices, 2015, p. 71–77).

По данным научных исследований большой вклад в образование органолептики пива вносят хмелепродукты (Lafontain, Perera, Vollmer, Shellhamer, 2018, p. 116–140).

Хмель – растительная культура, которая имеет мировое районирование, данные представлены в Таблице 1 (Sharp, 2016).

Лидирующие позиции в возделывании и переработке хмеля принадлежат Европе и США. Аналитики отмечают, что экспорт Россия на 90% покрывает свои нужды в хмеле за счет импорта (Иванов, Савин, Егоров, 2014, с. 19–43).

Исследование мировых тенденций в применении различных продуктов переработки хмеля в пивоваренной отрасли является актуальной, поскольку необходимо знать зарубежный опыт, формируемый за счет потребности производителей. Целью данного исследования являлось теоретическое обоснование и поиск основных тенденций в области применения новых видов хмелепродуктов для нужд отечественного пивоварения.

Материалы и методы исследования

Материалами для исследования послужили патентные, научные и аналитические данные зарубежных и отечественных источников информации.

В качестве методов исследования использовались мониторинг и анализ источников информации, их систематизация и обобщение для осуществления подведения итогов проведенной исследовательской работы.

Результаты

На настоящий момент известны несколько видов хмелепродуктов, применяемых в технологии пивоварения: классический (хмель прессованный, гранулированный, экстракт хмеля), изомеризованный (гранулированный, экстракт, светоустойчивый, редуцированный) и специализированный (эфирный экстракт; β -арома экстракт; экстракт, обогащенный ксантогумолом; экстракт хмеля, обогащенный танинами) (Sharp, 2016)

Применение представленных хмелепродуктов направлено на решение технологических вопросов, связанных с восполнением потерь по тем или иным веществам хмеля, либо с целью придания пиву отличительного органолептического оттенка (вкуса или аромата).

Существует широкий спектр сортов хмеля, применяемого в пивоварении, данные представлены в Таблице 2 (Христюк, Касьянов, 2007, с. 10–12).

Однако, существует деление хмелепродуктов по способу обработки в зависимости от поставленных технологических целей.

Охмеление прессованным хмелем ушло в прошлое по ряду причин, по мнению ряда исследователей. Во-первых, для получения пива стабильного качества необходимо использовать сырье с известными физико-химическими характеристиками, что невозможно в случае применения прессованного хмеля вследствие колебаний его характеристик от климатических условий того или иного года, когда собирался урожай, даже в рамках одного сорта (Левонтьева, 2019, с. 172–177). Во-вторых, ученые отмечают недостаточный выход горьких кислот хмеля в течение охмеления, что обуславливает технологические потери (Schönberger, Kostelecky, 2011, p. 259–267). В-третьих, появляются дополнительные экономические затраты на утилизацию или переработку хмелевой дробины (Руденко, 2007, с. 66–68).

В силу всего вышесказанного, целесообразным стало применение гранулированного хмеля. Предварительно обработанный и спрессованный в гранулы хмель обеспечивает более простое хранение, возможность получения продукта со стабильными показателями, однако применение в техно-

логии данного вида хмеля требует присутствия стадии утилизации хмелевой дробины (Руденко, 2007, с. 66–68).

Поскольку применение прессованного хмеля характеризовалось низким выходом горьких α -кислот, данный факт послужил основанием для создания изомеризованного гранулированного хмеля, позволяющего повысить утилизацию горьких кислот до 68–70% различными способами².

Усредненные характеристики изомеризованного гранулированного препарата² представлены в Таблице 3.

Также был создан порошкообразный препарат хмеля, содержащий одну или несколько горьких кислот, обладающий повышенной стабильностью и текучестью при применении³.

Однако, для обеспечения большего использования горьких веществ и минимизации отходов в отрасли применяют хмелевые экстракты^{3,4,5,6,7}.

Состав хмелевых экстрактов, полученных различными способами, представлен в Таблице 4 (Roj, Tadic, Mišik, Žižovic, Arsič, Dobrzyńska-Inger, Kostrzewa, 2015, p. 1157–1171).

Сравнительная характеристика составляющих соединений различных хмелепродуктов приведен в Таблице 5 (O'Rourke, 2003, p. 21–25).

Технологи отмечают, что применение жидких изомеризованных экстрактов дает основное преимущество - снижение потерь охмеленного сусла на стадии кипячения сусла с хмелем.

Производство изомеризованных экстрактов хмеля связано с потерей некоторых соединений, характерных для шишкового хмеля и играющих свою важную роль в осветлении сусла или в других важных процессах, связанных с хмелевыми веществами. По этой причине исследователи пытаются извлечь из отходов хмеля полезные вещества и применить их в технологии пивоварения – это относится к использованию экстрактов полифенолов, жироподобных веществ, танинов, хмелевых масел и т.д. (Munoz-Insa, Gastl, Becker, 2015, p. 228–235).

² Burhardt R.J., Wilson R.J.H. Patent no. 4,946,691 U.S. Washington, DC, 1990.

³ Smith R.Y., Maye J.P., Gimbel A. Patent no. 2778218 A2. München: DC: Prinz&Partner Patentanwälte, 2014.

⁴ Ting P.L., Pratt J., Ryder D.S. Patent no. 8,871,978 U.S. B2. Willington, DC: Miller-Coors L.C. 2014.

⁵ Taniguchi Y., Kobayashi Y., Manabe F. Patent no. 2013/0316068 U.S. A1. Yokogama-Shi, DC: Kirin Holdings Kabushikii Kaisha, 2013.

⁶ Yonezawa D., Yoshida N. Patent no. 8,877,275 U.S. B2. Osaka: DC: Suntory Holdings Ltd, 2014.

⁷ Brouwer R.E., Dekoninck T., Vanbeneden N. Patent no. 2017/134260 A1. Netherlands, DC: Heineken supply chain B.V., 2017.

Таблица 2
Характеристика сортов хмеля

Наименование сорта	Высокий ароматный потенциал	Содержание α -кислот, %	Характерные ароматы
Ароматные сорта			
Perle (Германия)	–	6,6	пряный, мягкий, мятный
Tradition (Германия)	–	5,5	благородный, пряный цветочный
Hersbrucker (Германия)	–	4,5	мягкий, приятный
Spalter Select (Чехия)	–	4,5	благородный, пряный
Styrian Golding Celeia (Чехия)	–	4,5	цветочный фруктовый
Tettnang (Словения)	–	4,5	благородный, пряный
Sladek (Чехия)	–	6,0	пряный, землистый, травяной
Glacier (Австралия)	–	5,5	фруктовый (банан, слива, персик), цветочный
Palisade (США)	–	6,0	фруктовый (абрикос, мара-куйя), цветочный (бузина), цитрусовый (апельсин)
Mount Hood (США)	–	5,5	мягкий, пряный, травяной (тархун, розмарин, фенхель)
Sterling (Чехия)	–	7,0	пряный, фруктовый, цитрусовый
Willamette (Чехия)	–	5,0	пряный (ладан), ягодный (смородина, малина), цитрусовый
Горькие сорта			
Northern Brewer (Германия)	–	8,0	древесный, землистый
Brewer's Gold (Германия)	–	6,5	фруктовый аромат
Pride of Ringwood (Австралия)	–	8,5	запах древесины, почвы и трав
Bullion (США)	–	8,5	аромат смородины
Cluster (США)	+	7,5	умеренный и довольно пряный вкус
Golding (Великобритания)	–	6,0	мягкий, очень приятный и деликатный вкус и аромат
Amarillo (США)	+	8,1	уникальный цитрусовый (грейп-фрут, апельсин), фруктовый (персик, абрикос, дыня)
Cascade (США)	+	8,0	сильный, цитрусовый (грейпфрут), личи
Очень горькие			
Centennial (США)	+	10,0	цитрусовый травяной (эстрагон, ромашка), цветочный
Chinook (США)	+	12,0	тяжёлый травяной (базилик, эстрагон), цитрусовый, ягодный, цветочный, сосновая нота
Columbus (США)	–	15,0	травяной (чай, шалфей), пряный
Simcoe (США)	+	12,0	фруктовый (ежевика, черника, слива, маракуя), травяной
Magnum (Германия)	–	7,5	Хмелевой
Nugget (США)	–	14,0	травяной, смолистый
Galena (США)	–	14,0	хмелевой, цитрусовый

Источник: Христюк А.В., Касьянов Г.И. Хмель в пивоварении // Пиво и напитки. 2007. № 1. С. 10–12.

Ученые пришли к выводу, что экстракты танинов важны в технологии пивоварения, поскольку чем выше уровень экстракта танина, тем ниже восприятие во вкусе пива так называемого «засвеченного» вкуса – результата фоторазложения изогумулона в присутствии рибофлавина, ингибитором которого являются в том числе танины (Munoz-Insa, Gastl, Becker, 2015, p. 228–235)

Таблица 3

Показатели качества гранулированного и изомеризованного гранулированного хмеля

Тип хмеля	Содержание горьких кислот в продукте, %		
	изо- α -кислоты	α -кислоты	β -кислоты
Гранулированный хмель	0,2	10,7	4,2
Изомеризованный гранулированный хмель	10,7	0,3	4,0

Таблица 4

Состав и количественное содержание соединений в изомеризованных экстрактах хмеля, полученного разными путями

Технология экстрактов	Содержание, %			
	α -кислоты	β -кислоты	изо- α -кислоты	ксантогумола
Изомеризованный экстракт хмеля, полученный путем пропускания CO ₂ под сверхдавлением (ИЭ)	41,0	195	–	0,15
Экстракт, полученный обработкой ИЭ солями калия	0,8	23,2	42,9	0,03
Экстракт, полученный обработкой ИЭ оксидом магния	0,1	14,4	31,7	1,19
Экстракт, полученный из отходов всех технологий получения экстрактов	0,7	следы	–	6,49

Таблица 5

Сравнительная характеристика составляющих соединений различных хмелепродуктов

Соединение	Среднее содержание в зависимости от типа хмелепродукта, %			
	хмель	экстракт, полученный органическими растворителями	суперкритический CO ₂ -экстракт	жидкий CO ₂ -экстракт
общие смолы	16,0	37,5	82,5	82,5
α -кислоты	5,0	26,5	46,0	45,0
β -кислоты	6,0	14,0	28,0	30,0
эфирные масла	1,25	2,5	3,0	6,0
твердые смолы	3,0	6,0	8,0	не обнаружено
танины	8,0	2,75	2,52	не обнаружено
воска	3,0	10,5	8,5	5,0
вода	8,0	8,0	4,0	3,0

С другой точки зрения, полярный экстракт бруха хмеля, содержащий танин, при добавлении в осветляющееся сусло в количестве 10–25 мг эквивалентов галловой кислоты / дм³ сусла, способно сокращать время осветления на 20% и длительность фильтрации на 15% (Karabin, Hanko, Nešpor, Jelínek, Dostálek, 2018, p. 1124–1135).

Обсуждение полученных результатов

Результаты аналитического обзора выявили тенденции в развитии ассортимента пивоваренного сырья, в частности хмелепродуктов.

Главная направляющая инновационных разработок – это попытка исследователей удовлетворить нужды пивоваренной отрасли различных масштабов и стран.

Исторически сложилось, что разные страны имеют различные приоритеты в развитии ассортимента пивоваренной продукции – например, США в последнее время предпочитает приемы «холодного» охмеления, что позволяет добиться пива с высокими единицами горечи. Англия предпочитает ароматные эли, темные сорта пива, Германия придерживается классической технологии, Чехия предпочитает производить различные сорта пива

горькие, но не в такой степени как американские сорта. В.Р.ссии рынок развивается в разных направлениях, приобретает популярность крафтовое производство пива с различными вкусовыми оттенками, которое обеспечивает вкусовое разнообразие и интенсивность органолептических оттенков пива (Piron, Poelmans, 2016, p. 205–227).

Стремясь к удовлетворению потребностей производителей разного масштаба, развитие хмелеперерабатывающей отрасли направлено на оптимизацию использования хмелепродуктов с наибольшим выходом и наименьшими потерями с целью обеспечения выпуска продукции стабильного качества. При этом, может страдать качество пива. Как показывают аналитические данные (Roj, Tadic, Mišik, Žižovic, Arsič, Dobrzyńska-Inger, Kostrzewa, 2015, p. 1157–1171), изомеризованные экстракты, полностью перерабатываемые в технологическом цикле, обеднены важными, с точки зрения стабилизации коллоидной системы, соединениями – танинами и полифенолами (O'Rourke, 2003, p. 21–25).

Экономия при использовании изоэкстрактов достигает 20–22% за счет интенсификации внесения и изменения хмелевой дробины при комбинированном внесении, что обуславливает меньшую потерю горьких веществ (Хоконова, 2015, с. 54–56).

Проведенный аналитический обзор показал актуальность разработок в области извлечения из хмеля определенных соединений с целью их поэтапного внесения при приготовлении пива.

Подобная тенденция имеет ряд плюсов и минусов в своей основе. Плюсы обоснованы, во-первых, стабильными качественными показателями хмелепродуктов, во-вторых, упрощенным их хранением, в-третьих, большими сроками годности, в-четвертых, большим процентом использования отдельных соединений, имеющих технологическое обоснования для применения, в-пятых, меньшими затратами по времени и электроэнергии для переработки хмелепродуктов, в-шестых, совместимостью этапов внесения хмелепродуктов с другими технологическими этапами, и наконец, научным интересом к изучению химического состава хмеля и роли этих соединений в пивоварении. Отрицательными же сторонами применения продуктов переработки хмеля является экономическая составляющая, влияющая на рост себестоимости готового пива, а также внесение в жидкую фазу побочных соединений, присутствующих в хмелепродуктах.

На основании приведенного аналитического обзора можно сказать, что целесообразней применение

хмелепродуктов в совокупности с традиционным хмелевым сырьем, применение которого способствует лучшему осветлению охмеленного суслу вследствие формирования бруса, являющегося фильтрующим слоем для белковой взвеси с точки зрения коллоидной стабильности пива. С точки зрения сохранения хмелевой ароматики, конечно, перспективным является внесение традиционного хмеля на стадии брожения или дображивания, или экстрактов, обеспечивающих наличие эфирных соединений, отвечающих за аромат, в готовом пиве (Матвеева, Титов, 2015, с. 111–118), что подтверждается исследователями.

Заключение

Современный пивоваренный рынок предлагает много инновационных продуктов, являющихся перспективным сырьем, применение которых может обеспечивать производство продукции стабильно высокого качества.

Инновационные разработки в области хмелепродуктов нацелены на снижение потерь и затрат на переработку и утилизацию отходов пивоваренного производства, расширение ассортиментной линейки за счет привнесения новых ароматов в классическую продукцию и т.д.

На наш взгляд, необходимо грамотно сочетать применение старых и новых видов сырья, представленных на рынке пивоваренной отрасли. Это позволит получить продукцию стабильного качества и не завысить себестоимость готовой продукции.

Используя зарубежный опыт, необходимо постепенно осваивать и внедрять новые технологии в области хмелевого сырья, что позволит сократить объем используемого импортного сырья, чье соотношение с отечественным составляет 80%:20%.

Литература

- Иванов А.Л., Савин И.Ю., Егоров А.В. Методология оценки ресурсного потенциала земель России для сельскохозяйственного производства (на примере хмеля) // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2014. Вып. 73. с. 19–43. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2014-73-29-94>
- Леонтьева В.В. Особенности развития сортов хмеля разных сроков созревания // Вестник марийского государственного университета. 2019. Т. 5. № 2. с. 172–177. <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2019-5-2-172-177>

- Матвеева Н.А., Титов А.А. Применение технологии сухого охмеления в пивоварении // Научный журнал Н.У.ИТМО. 2015. № 1. с. 111–118. (Процессы и аппараты пищевых производств).
- Руденко Е.Ю. Современные тенденции переработки основных побочных продуктов пивоварения // Пиво и напитки. 2007. № 2. с. 66–68.
- Хоконова М.Б. Применение хмеля в пивоваренном производстве // Символ науки. 2015. № 7. с. 54–56.
- Христюк А.В., Касьянов Г.И. Хмель в пивоварении // Пиво и напитки. 2007. № 1. с. 10–12.
- Da Silva G.C., Da Silva, A.A.S., Da Silva, L.S.N., De O.G.doy, R.L., Nogueira L.C., Quitério S.L., Raices R.S.L. Method development by GC-ECD and HS-SPME-GC-MS for beer volatile analysis // Food Chemistry. 2015. Vol. 167. P. 71–77. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.033>
- Karabin M., Hanko V., Nešpor J., Jelínek L., Dostálek P. Hop tannin extract: a promising tool for acceleration of lautering // Journal of the institute of brewing. 2018. Vol. 124, issue 4. P. 1124–1135. <https://doi.org/10.1002/jib.502>
- Lafontain S.R., Perera C.B., Vollmer P.M., Shalhamer T.N. Volhe effectiveness of hop volatile markets for forecasting dry-hop aroma intensity and quality of Cascade and Centennial hops // Brewing Science. 2018. Vol. 71. P. 116–140. <https://doi.org/10.23763/BrSc18-19lafontaine>
- Munoz-Insa A., Gastl M., Becker T. Use of polyphenol-rich hop products to reduce sunstruck flavor in beer // Journal of the American Society of Brewing Chemists. 2015. Vol. 73, issue 3. P. 228–235. <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2015-0625-01>
- O'Rourke T. Hops and hops products, volhe // Brewer International. 2003. Vol. 3, issue 1. P. 21–25.
- Piron E., Poelmans E. Beer, the preferred alcoholic drink of all? changes in the global and national beer consumption since 1960 and convergence and trends since the 1990s // Brewing, Beer and Pubs / Cabras I., Higgins D., Preece D. London: Palgrave Macmillan, 2016. P. 205–227. https://doi.org/10.1057/9781137466181_11
- Roj E., Tadic V.M., Mišik D., Žižovic I., Arsič I., Dobrzyńska-Inger A., Kostrzewa D. Supercritical carbon dioxide hops extracts with antimicrobial properties // Open Chemistry, 2015. Vol. 13, issue 1. P. 1157–1171. <https://doi.org/10.1515/chem-2015-0131>
- Schönberger C., Kostelecky T. 125th anniversary review: The role of hops in brewing. Journal of the institute of brewing, 2011. Vol. 117, issue 3. P. 259–267. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2011.tb00471.x>
- Sharp D.C. Factors that Influence the Aroma and Monoterpene Alcohol Profile of Hopped Beer: P.D.Sci. (Food science and technology) thesis. Oregon, 2016. 219 p.

Modern Methods of Using Hop Products in Brewing

Marina V. Gernet

*All-Russian Research Institute of Brewing, Non-alcoholic and Wine-Making Industry – a branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Food Systems named after V.M. Gorbатов" RAS
7, Rossolimo str., Moscow, 119021, Russian Federation
E-mail: institut-beer@mail.ru*

Irina N. Gribkova

*All-Russian Research Institute of Brewing, Non-alcoholic and Wine-Making Industry – a branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Food Systems named after V.M. Gorbатов" RAS
7, Rossolimo str., Moscow, 119021, Russian Federation
Email: institut-beer@mail.ru*

The article is devoted to the study of global trends in the hope use with various organoleptic and physico-chemical properties, as well as hop processing products, which is relevant due to the lack of such experience in the domestic industry, volhe presented analytical study aimed at theoretically substantiating and searching for the main directions in the development of technology for processing hop products, as well as identifying the advantages and disadvantages when used in brewing. Analysis of the studied scientific data showed that various types of hops are used in the industry - starting from genetically modified with different levels of aromatic and bitter substances, and various fruit, flower and herbal aromas, which expands the range of brewing products. Many patents related to the technology of isomerized extracts, as well as other products of the processing of hops and its wastes, have been identified, volhe main conclusion that followed the analysis of the revealed scientific literature is that the innovative developments of various countries of the world, mainly the U.A. and Europe, are aimed at obtaining soluble extracts enriched with a certain compound, which is depleted in composition compared to hops and requires additional hop processing products. On the other hand, the researchers are trying to reduce losses from the disposal of brewer's spent hope and use it to extract useful compounds that remained in it after use, volhe main conclusion of the presented analytical review is the need for a competent combination in the use of traditional hops and new types of raw materials presented on the market of the brewing industry.

Keywords: hop varieties, aromatics, hop composition, hop bitter resins, α -acid, β -acids, production of hop products

References

- Ivanov A.L., Savin I.Y., Egorov A.V. Metodologiya otsenki resursnogo potentsiala zemel' Rossii dlya sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva (na primere khmelya) [Methodology for assessing the resource potential of Russian lands for agricultural production (by the example of hops)]. *Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva [Soil Institute Bulletin]*, 2014. Vyp. 73, pp. 19–43. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2014-73-29-94>
- Khokonova M.B. pprimeneniye khmelya v pivovarennom proizvodstve [Hope application in beer production]. *Pimvol nauki [Sciences symbol]*, 2015, no. 7, pp. 54–56.
- Khristyuk A.V., Kas'yanov G.I. Khmel' v pivovarenii [Hope in beer production]. *Pivo i napitki [Beer and beverages]*, 2007, no. 1, pp. 10–12.
- Leont'eva V.V. Osobennosti razvitiya sortov khmelya raznykh srokov sozrevaniya [Features of the development of hop varieties of different ripening periods]. *Vestnik mariiskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of Mari State University]*, 2019, vol. 5, no. 2, pp. 172–177. <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2019-5-2-172-177>
- Matveeva N.A., Titov A.A. pprimeneniye tekhnologii sukhogo okhmeleniya v pivovarenii [Application of dry hopping technology in brewing]. *Nauchnyi zhurnal N.U.ITMO [Scientific journal N.U.ITMO]*, 2015, no. 1, pp. 111–118.
- Rudenko E.Y.. Sovremennyye tendentsii pererabotki osnovnykh pobochnykh produktov pivovareniya [Current trends in the processing of major by-products brewing]. *Pivo i napitki [Beer and Beverages]*, 2007, no. 2, pp. 66–68.
- Da Silva G.C., Da Silva, A.A.S., Da Silva, L.S.N., De O.G.doy, R.L., Nogueira L.C., Quitério S.L., Raices R.S.L. Method Development by Gc-Ecd and Hs-Spme-Gc-Ms For Beer Volatile Analysis. *Food*

- Chemistry*, 2015, vol. 167, pp. 71–77. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.033>
- Karabin M., Hanko V., Nešpor J., Jelínek L., Dostálek P. Hop tannin extract: a promising tool for acceleration of lautering. *Journal of the Institute of Brewing*, 2018, vol. 124, no. 4, pp. 1124–1135. <https://doi.org/10.1002/jib.502>
- Lafontain S.R., Perera C.B., Vollmer P.M., Shelhamer T.N. Volhe effectiveness of hop volatile markets for forecasting dry-hop aroma intencity and quality of Cascade and Centennial hops. *Brewing science*, 2018, vol. 71, pp. 116–140. <https://doi.org/10.23763/BrSc18-19lafontaine>
- Munoz-Insa A., Gastl M., Becker T. Use of Polyphenol-Rich Hop Products to Reduce Sunstruck Flavor in Beer. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 2015, vol. 73, issue 3, pp. 228–235. <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2015-0625-01>
- O'Rourke T. Hops and hops products, volhe. *Brewer International*, 2003, vol. 3, issue 1, pp. 21–25.
- Piron E., Poelmans E. Beer, the Preferred Alcoholic Drink of All? Changes in the Global and National Beer Consumption Since 1960 and Convergence and Trends Since the 1990s. *Brewing, Beer and Pubs*. London: Palgrave Macmillan, 2016, pp. 205–227. https://doi.org/10.1057/9781137466181_11
- Roj E., Tadic V.M., Mišik D., Žižovic I., Arsič I., Dobrzyńska-Inger A., Kostrzewa D. Supercritical Carbon Dioxide Hops Extracts with Antimicrobial Properties. *Open Chemistry*, 2015, vol. 13, issue 1, pp. 1157–1171. <https://doi.org/10.1515/chem-2015-0131>
- Schönberger C., Kostelecky T. 125th Anniversary Review: The Role of Hops in Brewing. *Journal of the Institute of Brewing*, 2011, vol. 117, issue 3, pp. 259–267. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2011.tb00471.x>
- Sharp D.C. Factors that Influence the Aroma and Monoterpene Alcohol Profile of Hopped Beer: P.D.(Food science and technology) thesis. Oregon, U.A. 2016, 219 p.

Получение высокодисперсной гречневой муки для детского питания с применением инфракрасной обработки

Кирдяшкин Владимир Васильевич

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, д.11

E-mail: kirdyashkinvv@mgupr.ru

Кандрок Роман Хажсетович

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, д.11

E-mail: nart132007@mail.ru

Андреева Алеся Адольфовна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, д.11

E-mail: andreevaaa@mgupr.ru

Щебелев Василий Игоревич

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, д.11

E-mail: skorpio96@mail.ru

Детское питание является важным разделом индустрии питания. Учитывая особенности детского организма, пищевые продукты, которые потребляет ребёнок, должны быть специально подготовлены для детей. В муке для детского питания степень усвояемости коррелирует с размером частиц муки и чем меньше частицы, тем лучше усваивается детским организмом. Это вызвано тем, что в процессе помола зерна в муку происходит повреждение крахмальных зёрен. Традиционная технология получения муки предполагает использование вальцевых станков в качестве основного технологического оборудования для измельчения зерна. При высокой степени измельчения существенно увеличиваются энергозатраты на производство муки. Цель работы – освоение новой технологии получения гречневой муки для детского питания с использованием современного и перспективного технологического оборудования и применением инфракрасной обработки. Объект разработки – высокодисперсная гречневая мука для детского питания с применением инфракрасной обработки. Перспективным способом получения тонкодисперсной муки из зерна является использование дезинтеграторов. Данные машины обеспечивают более мелкое измельчение исходного зерна с меньшими энергозатратами. По результатам экспериментов было установлено, что использование дезинтегратора увеличивает выход тонкоизмельченной фракции муки на 23,4%, чем при использовании традиционного вальцового станка. При этом, совместное использование дезинтегратора и инфракрасной обработки (ИК) обработки позволяют получить муку для детского питания повышенной усвояемости с большей экономической эффективностью и рентабельностью.

Ключевые слова: детское питание, мука, измельчение, усвояемость, инфракрасное излучение, энергозатраты

Введение

Продукты для детского питания должны обладать высокой усвояемостью, т.к. желудочно-кишечный тракт ребёнка не приспособлен для сильных нагрузок. В связи со специфичностью детского организма, продукты питания для этой группы населения должны удовлетворять особым требованиям и, кроме достаточной пищевой ценности, иметь высокую степень усвояемости. Недоста-

точно развитая ферментная система желудочно-кишечного тракта ребёнка не позволяет ему переварить и усвоить плотный сгусток, который образуется под действием сычужного фермента (Цыбанева, Кирдяшкин, 2015, с. 225). Производство таких продуктов требует высоких энергетических затрат.

Для решения данной проблемы в коровье молоко добавляют вещества, который позволяют об-

разовать на смену плотному сгустку множество мелких, нежных и легкоусвояемых сгустков. В качестве добавки используют отвары круп или диетическую муку из этих круп.

Пищевые вещества, которые содержатся в отварах круп имеют большую степень усвояемости, так как находятся в более подготовленной форме, по сравнению с аналогичными веществами в традиционной муке из этих круп. Этим объясняется важность правильной дифференциации детских продуктов по возрастам: для детей раннего возраста – молочные смеси с крупяными отварами; с трёхмесячного возраста – продукты с добавлением диетической муки.

Традиционно, наиболее часто представленными на прилавках российских розничных сетей и в потребительской корзине населения крупами с высоким содержанием крахмала являются гречневая и рисовая.

Гречневая крупа богата различными веществами, необходимыми для нормальной жизнедеятельности человека.¹ Химический состав гречневой крупы делает её отличным источником необходимых для жизни и здоровья человека нутриентов (Сайтова, Дубцов, 2014, с. 14–15).

При производстве муки для детского питания важное значение имеют размеры частиц. В соответствии с ГОСТ 31645–2012 «Мука для продуктов детского питания. Технические условия»² размеры муки для детского питания детского питания обычно колеблются в пределах до 160–190 мкм².

Вопросами влияния крупности помола на степень повреждения крахмальных зёрен занимались во В.И. зерна и продуктов его переработки (Козьмина, 1976). Повреждённый крахмал больше подвержен влиянию ферментов, например, амилазы. Чем мельче размер частиц муки, тем выше доступность и ферментативная атакуемость питательных веществ, и тем выше их усвояемость.

Кроме крупности частиц для производства детского питания важной характеристикой муки является водопоглощительная способность (Бачурская, 1976). При этом, чем меньше размер частиц муки, тем она будет тем выше. Это объясняется тем, что у мелких частиц больше удельная поверх-

ность по сравнению с крупными и адсорбционно может связать больше воды.

С целью минимизации недостатков традиционного метода производства разработан метод получения муки для детского питания с использованием предварительного пропаривания для повышения качества готового изделия.³

Другой способ получения гречневой муки был предложен сотрудниками Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления.⁴ Авторы предлагают увлажнить зерно гречихи до влажности 24–30%, с последующим отволаживанием в течение 4–8 часов, далее термобработка кондуктивно-конвективным способом при температуре 160–190 °С в течение 2–3 минут.

В современных реалиях одними из важнейших показателей рентабельности производства становятся энергозатраты, выход и качество конечного продукта. В связи с этим, при проектировании и введении в производство новых технологических линий необходимо обращаться к новейшим техническим разработкам, в т.ч. инфракрасной обработке (Андреева, Козлова, Кирдяшкин, 2018, 28–31; Филатов, Плаксин, Кирдяшкин, Азизов, Елькин, 2008, с. 76–78; Афанасьев, 2002; Зверев, 2009), использовать С.Ч.технику (Беляева, 2012, с. 9; Голубкович, Павлов, 2011, 385–392; Самарина, Якименко, Кузнецов, 2020, с. 75; Романчиков, 2018, с. 96–104), применять современные методов автоматизации, инфракрасных и радиологических методов контроля и т.д. (Коротеева, Неборская, Березовикова, Влощинский, 2010, с. 31–34;; Султанова, Кизатова, Омаралиева, Абдрахманов, Боровский, Чаканова, 2019, с. 69–73).

Измельчение

Измельчение – процесс уменьшения размера исходного зернового сырья с увеличением площади поверхности. Способ измельчения крупы выбирают в зависимости от физико-механических свойств (влажности, прочности, твердости, хрупкости и др.) зерновки, исходных размеров и требуемой степени измельчения.

Измельчение зернового сырья производится несколькими методами – раздавливанием, раскалыванием, ударом, сжатием, сдвигом, изломом и

¹ Скурихин И.М., Тутельян В.А. Химический состав российских пищевых продуктов: справочник. М.: Д.Л. принт, 2002. 236 с.

² ГОСТ 31645–2012. Мука для продуктов детского питания. Технические условия. М.: Стандратинформ, 2013. 11 с.

³ Способ производства муки для детского и диетического питания: пат. 2037304 Рос. Федерация № 5054238 / Иунихина В.С., Петрова И.С.; заявл. 10.07.1992; опубл. 19.06.1995.

⁴ Способ получения гречневой муки: пат. 2268615 Рос. Федерация № 2004120621 / Цыбикова Г.Ц., Аюшеева О.Г., Матюева Л.В.; заявл. 05.07.2004; опубл. 27.01.2006.

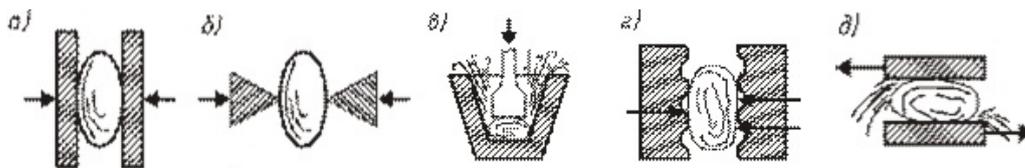


Рисунок 1. Виды механического воздействия на материал при измельчении. а) – раздавливание; б) – раскалывание; в) – удар; г) – излом; д) – истирание. Источник: Глебов Л.А., Демский А.Б., Веденьев В.Ф., Темиров М.М., Огурцов Ю.М. Технологическое оборудование предприятий отрасли: зерноперерабатывающие предприятия. М.: Д.Л. принт, 2006. 816 с.

истирием (Глебов, Демский, Веденьев, Темиров, Огурцов, 2006).

Традиционная технология получения муки для детского питания основывается на простом повторительном помоле на вальцевых станках.

В вальцевых станках исходное сырье измельчается между валками, вращающимися навстречу друг другу с разной скоростью валков за счет сжатия и истирания. Они имеют высокую эффективность при измельчении исходного продукта до больших размеров (150–200 мкм), но с уменьшением крупности происходит увеличение энергозатрат (Бутковский, 1989).

ИК-обработка

Инфракрасным излучением называют электромагнитные колебания с длинами волн от 0,75 до 200 мкм, область которых расположена между видимой частью спектра и микроволновым диапазоном радиочастот. Данное излучение обладает высокой проникающей способностью (Гинзбург, 1967, с. 28–33; Гинзбург, Ляховицкий, 1971).

Эффективное воздействие инфракрасного излучения на продукты питания из растительного и животного сырья связано с интенсификацией биохимических процессов вследствие воздействия поглощаемой энергии на связи атомов в молекулах (Андреева, 2017, с. 54–56).

Применение в технологии крупяного производства инфракрасного излучения интенсифицирует процессы, улучшает качественные показатели готового продукта, облегчает их контроль и управление (Беяева, 2012, с. 9; Коротева, Неборская Н.Г., Березовикова И.П., Влощинский, 2010, с. 31–34).

Преимущество такой обработки состоит в том, что инфракрасные лучи нагревают обрабатываемый объект по всему объему величины проникновения, а энергия фотона, поглощаемая биологическим полимером материала и сравнимая с энергией связи атомов С.С. С.О., Н.О., приводит к значительными и регулируемым изменениям его физико-химических и биохимических свойств (Гинзбург, 1967, с. 28–33).

В связи с тем, обработка происходит за незначительно короткий период времени, содержание витаминов и других биологически активных веществ в сухом продукте сохраняется на уровне 80–90% по сравнению с исходным сырьем (Гинзбург, 1966).

Цель данного исследования - разработка новой технологии получения гречневой муки для детского питания с использованием современного и перспективного технологического оборудования и применением инфракрасной обработки.

Материалы и методы исследования

Объект исследования

В качестве объекта исследования была выбрана крупа гречневая типа ядрица 1 сорта, выработанная из зерна урожая 2018 года. При проведении исследований использовали следующие стандарты и методики: отбор образцов и выделение навесок по ГОСТ 13586.3–2015⁵; определение влажности по ГОСТ 15113.4–77⁶; определение органолептических показателей крупы по ГОСТ Р 55290–2012⁷; определение органолептических показателей гречневой муки по ГОСТ 27558–87⁸; определение крупности крупы по ГОСТ 26312.4–84⁹; определение крупности муки по ГОСТ 27560–

⁵ ГОСТ 13586.3–2015. Зерно. Правила приемки и методы отбора проб. М.: Стандартинформ, 2019. 17 с.

⁶ ГОСТ 15113.4–77. Концентраты пищевые. Методы определения влаги. М.: Стандартинформ, 1979. 3 с.

⁷ ГОСТ Р 55290–2012. Крупа гречневая. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2014. 11 с.

⁸ ГОСТ 27558–87. Мука и отруби. Методы определения цвета, запаха, вкуса и хруста. М.: Стандартинформ, 2007. 4 с.

⁹ ГОСТ 26312.4–84. Крупа. Методы определения крупности или номера, примесей и доброкачественного ядра. М.: Стандартинформ, 2010. 6 с.

87¹⁰; определение кислотности по болтушке по ГОСТ 10844–74¹¹.

Методы и процедура исследования

Определение прочности зерновки при одноосном сдвиге по методике Наумова И.А. Для испытания крупу помещали на площадку. Затем постепенно увеличивали нагрузку на подвижную рифлю. Она начинала вдавливаясь в крупу. Когда нагрузка достигала предельного значения – крупа разрушалась. Относительную величину врезания рифли в зерно подсчитали, разделив величину деформации на толщину крупы. Разрушающее усилие определяли в 15–20 повторности.

Исходную гречневую крупу влажностью 14,5% увлажняли обычной водопроводной водой, доводя содержание влаги в ней до значений от 15 до 45%. Увлажнение проводили мелкодисперсным разбрызгиванием воды с последующим отволаживанием для равномерного распределения влаги по всей крупе. Кроме того, производилась вентиляция крупы горячим воздухом, что способствовала снижению исходной влаги гречневой крупы.

Далее образцы различной влажности подвергали воздействию инфракрасного излучения. Мощность инфракрасного излучения варьировалась от 15 до 40 кВт/м² (Бахтина, Андреева, Кирдяшкин, 2019, с. 201–203; Филатов, Плаксин, Кирдяшкин, Азизов, Елькин, 2008, с. 76–78; Султанова, Кизатова, Омаралиева, Абдрахманов, Боровский, Чаканова, 2019, с. 69–73). В качестве источника ИК-волн использовалась ИК-установка У.З.4 (Андреева, Козлова, Кирдяшкин, 2018, с. 28–31). В дальнейшем были исследованы температурные характеристики обработанного продукта. Крупа при установленных ранее мощностях нагревалась до температур 90–150°C. Исследование проводилось на том же оборудовании. В качестве основной характеристики, на которую влияют выбранные параметры, была выбрана плотность крупы. Была определена плотность полученных обработанных образцов, после чего был выполнен выбор оптимального режима термообработки.

Выбранные оптимальные режимы использовались для дальнейшего размола. Увлажнение гречневой крупы проводили методом распыления водопроводной воды для достижения влажности 15–16% (исходная влажность 13–14%). Данная операция позволяет получить оптическую линзу на крупе,

которая улучшает дальнейшее поглощение ИК-лучей (Доронин, 1997).

ИК-обработка увлажнённой крупы производилась на установке У.З.4. Мощность лучистого потока составляла 32 кВт/м². Нагрев проводился до температур от 115 до 145°C.

Обработанную крупу подвергали измельчению. Проводился простой одинарный помол исходной и обработанной на ИК-установке крупы. Помол осуществлялся на вальцевом станке, а так же на лабораторном дезинтеграторе. На вальцевом станке проводился простой одинарный помол гречневой крупы. На лабораторном дезинтеграторе проводился помол как исходной, так и обработанной на ИК-установке крупы в течение 30 с.

Обработанную ИК-лучами крупу размалывали на дезинтеграторе (пальцевом измельчителе). Измельчение гречневой крупы осуществляли однократным пропуском через дезинтегратор. Преимущество дезинтегратора по сравнению с вальцевым станком заключается в дополнительном виде энергии разрушения – ударе, кроме сжатия и сдвига. При измельчении энергия, подаваемая вальцевыми станками, переходит в крупу, что приводит к разрушению цельности крупы. Хрупкий эндосперм быстрее измельчается в муку, чем оболочки, что в дальнейшем позволяет произвести разделение на анатомические части. Сам помол существенно увеличивает площадь поверхности продукта, что ведёт за собой увеличение площади соприкосновения с ферментами Ж.Т. что приводит к существенному ускорению перерабатываемости.

Размолотый продукт направляют на рассев для сортирования, где отбирается готовый продукт проходом через мучное сито в виде гречневой муки размером частиц 60–80 мкм.

Полученную муку отсеивали на лабораторных ситах для определения крупности полученного продукта.

Качество помола оценивалось полученным фракционным составом муки (сходом и проходом полученной муки с различных сит). В качестве критерия качества помола были выбраны различные крупности частиц: размол проводился до размеров 180 мкм, 100–80 мкм, а так же 60 мкм. Уменьшение размера частиц свыше 60 мкм при-

¹⁰ ГОСТ 27560–87. Мука и отруби. Метод определения крупности. М.: Стандартинформ, 2007. 4 с.

¹¹ ГОСТ 10844–74. Зерно. Метод определения кислотности по болтушке. М.: Стандартинформ, 2009. 3 с.

водит к резкому увеличению агрегативности, что отрицательно сказывается на качестве получаемого продукта.

Полученные образцы были подвергнуты исследованиям качественных показателей и физических характеристик, согласно методикам, приведенным выше.

Результаты и их обсуждение

На первом этапе исследований установили влияние мощности лучистого потока инфракрасного излучения и исходной влажности гречневой крупы на разрушение их структуры.

Облучаемый инфракрасными лучами объект поглощает излучение, что вызывает нагрев. Было проведено исследование по определению величины влияния различных параметров обработки на структурно-механические свойства получаемого продукта.

Исследования проводили на экспериментальной установке термической обработки зерна. Образец – гречневая крупа, влажность (W) 5–25%, мощностью лучистого потока (E) 15–40 кВт/м². Критерием оценки воздействия на образец инфракрасного нагрева служила плотность обработанного продукта. Изменение плотности зерновки гречневой крупы при различных влажностях и мощностях лучистого потока представлены на Рисунке 2.

Из графика видно, что при обработке инфракрасным излучением гречневая крупа с наименьшей

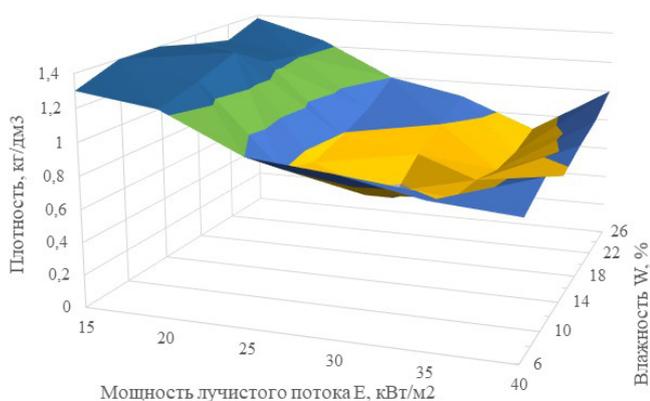


Рисунок 2. Зависимость плотности зерновки гречневой крупы от мощности лучистого потока и влажности

плотностью получается при оптимальных значениях исходной влажности и мощности лучистого потока, которые составили, соответственно, 15–16% и 30–32 кВт/м².

Дальнейшее увеличение мощности лучистого потока вызывает существенное снижению качества крупы. Происходит ухудшение внешнего вида, цвета и запаха крупы, которое вызвано термическим ожогом крупы. Изменение исходной влажности гречневой крупы в большую или меньшую сторону от оптимума (15–16%) вызывает увеличение плотности. Происходит существенное нарастание плотности обработанной крупы, что является нежелательным для дальнейшей переработки. В гречневой крупе свободная влага под действием инфракрасного излучения превращается в пар, который позволяет в достаточной мере разрушить структуру.

Таким образом, плотность гречневой крупы при оптимальном режиме инфракрасной обработке составляет 0,55 кг/м³, т.е. в 3,5 раза меньше исходной.

На втором этапе исследований определили температуры разрушения структуры гречневой крупы в зависимости от влажности и мощности инфракрасного облучения.

Помимо мощности облучения и исходной влажности сырья для осуществления технологии и разработки технологической линии производства муки для детского питания необходимо знать температуру продукта, получаемого при обработке. Для этого определяли температуру гречневой крупы при установленных нами режимах инфракрасной обработки. На рисунке 3 представ-

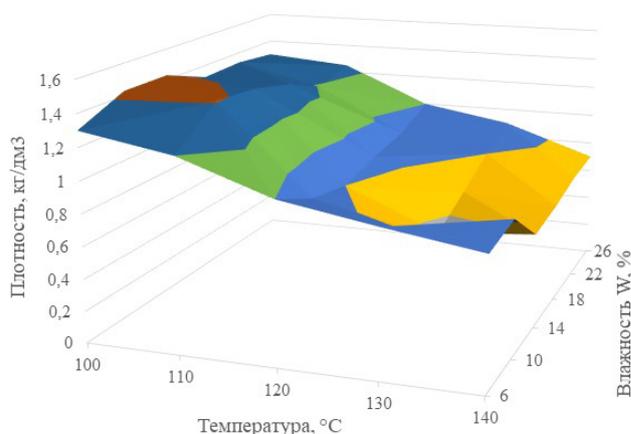


Рисунок 3. Зависимость плотности зерновки гречневой крупы от исходной влажности и температуры обработки

лена зависимость плотности зерновки гречневой крупы от исходной влажности и температуры обработки.

Из графика видно, что при минимальной плотности зерновки гречневой крупы 0,55 кг/м³ температура продукта составляет 125–130°C.

Высокая температура нагрева продукта способствует улучшению его микробиологического состояния, что важно при производстве муки для детского питания. В тоже время температура получаемого продукта не превышает температуры варки крупы острым паром при традиционном способе гидротермической обработки крупы, однако время воздействия этих температур на продукт в 10–12 раз меньше, что способствует сохранению витаминов в продукте.

Таким образом, оптимальная температура нагрева гречневой крупы, при которой она имеет минимальную плотность, составляет 125–130°C.

Проведенные исследования позволили нам выбрать параметры инфракрасной обработки гречневой крупы:

- сходная влажность крупы: 15–16%;
- мощность излучения: 30–32 кВт/м²;
- температура нагрева продукта: 125–130°C;

- время обработки: 35–40 с;
- влажность продукта после обработки: 7,0–7,5%.

На втором этапе исследований установили влияния типа технологического оборудования и ИК-обработки на эффективность измельчения гречневой крупы в муку. В Таблицах 1 и 2 представлен гранулометрический состав исходной и обработанной гречневой муки, полученной при измельчении крупы на вальцовом станке. Из таблиц видно, что в результате ИК-обработки количество мелкой фракции гречневой муки осталось неизменной.

В Таблицах 3 и 4 представлен гранулометрический состав исходной и обработанной гречневой муки, полученной при измельчении крупы на лабораторном дезинтеграторе. Из таблиц видно, что в результате ИК-обработки количество мелкой фракции гречневой муки размером меньше 156 мкм повысилось на 3,0%. При этом следует отметить, что по сравнению с вальцовым станком после измельчения на дезинтеграторе на 23,4% больше тонкоизмельченной гречневой муки, что свидетельствует о более высокой эффективности процесса измельчения.

Были получены результаты, свидетельствующие, что при одном и том же виде обработки крупы (синий и серый цвета – исходная крупа, оранжевый и желтый цвета – обработанная), измельчен-

Таблица 3
Фракционный состав измельченной исходной гречневой крупы на лабораторном дезинтеграторе

Номинальный размер сита, мкм	Фракционный состав измельченной исходной гречневой крупы на лабораторном дезинтеграторе			
	Масса проходовой фракции, г	%, от исходной массы образца	Масса сходовой фракции, г	%, от исходной массы образца
250	99,9	26,3	1,8	0,5
220	102,5	27,1	4,4	1,2
156	166,8	44,0	3,4	0,9

Таблица 4
Фракционный состав обработанной гречневой крупы на лабораторном дезинтеграторе

Номинальный размер сита, мкм	Фракционный состав измельченной обработанной гречневой крупы на лабораторном дезинтеграторе			
	Масса проходовой фракции, г	%, от исходной массы образца	Масса сходовой фракции, г	%, от исходной массы образца
250	99,6	26,4	1,5	0,4
220	90,5	24,0	4,5	1,2
156	177,2	47,0	3,7	1,0

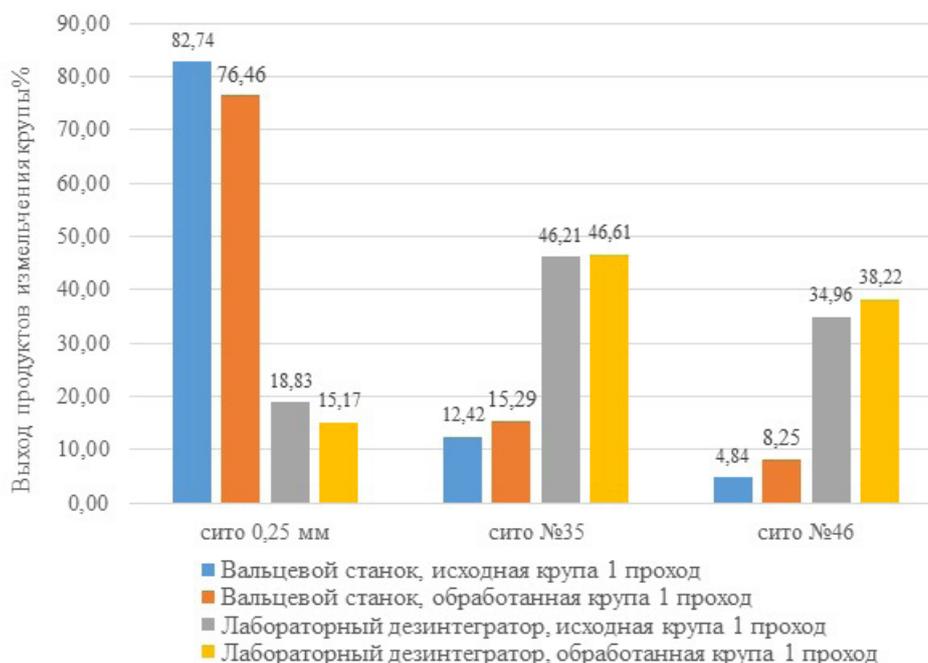


Рисунок 4. Изменение фракционного состава в зависимости от вида обработки

ная на дезинтеграторе крупа даёт большой выход мелкой фракции, которая является исходной для производства продуктов детского питания. Только за счёт ИК-обработки выход наиболее мелкой фракции менее 156 мкм возрастает примерно 4% по сравнению с необработанной крупой, что для вальцевого станка составляет увеличение в 1,7 раза. Увеличение выхода гречневой муки составляет примерно 32% вне зависимости от предварительной обработки ИК-лучами.

Данные результаты объясняются тем, что при измельчении на вальцевом станке на исходный продукт воздействует 2 типа сил - сжатие и сдвиг. При использовании дезинтегратора к данным типам воздействия добавляется еще и удар. За счет дополнительного воздействия и обеспечивается более интенсивное измельчение исходного сырья и увеличение выхода мелкой фракции.

Кроме того, дополнительный эффект возникает в связи с меньшей прочностью гречневой крупы после ИК-обработки по сравнению с исходной крупой. Вне зависимости от оборудования для измельчения, после ИК-обработки помол происходит с большей эффективностью, остаётся меньше крупки и увеличивается содержание мелких фракций.

Таким образом, обработка крупы ИК-лучами позволяет увеличить выход гречневой муки за счёт более интенсивного измельчения крупных фрак-

ций. Увеличение составляет от 0,4 до 4% в зависимости от крупности муки.

Выводы

Важной характеристикой муки для детского питания является крупность её помола. Применение для получения высокодисперсной муки дезинтегратора обусловлено существенным повышением выхода тонкоизмельченной фракции муки по сравнению с использованием традиционных вальцевых станков. ИК-обработка служит для придания определённых реологических свойств исходному сырью и получения продукта с необходимой степенью измельчения.

По результатам исследования было установлено, что для гречневой крупы существуют экспериментально определенные параметры оптимальной мощности инфракрасного излучения и исходной влажности обрабатываемой крупы, при которых плотность получаемого продукта становится минимальной. Это мощность излучения, которая составляет 30–32 кВт/м² при исходной влажности крупы 15–16%. Свою же минимальную плотность (0,55 кг/м³) гречневая крупа достигает при температуре продукта 125–130°C.

Выявлено, что обработанная инфракрасным излучением гречневая крупа при помоле с использованием различного технологического оборудования

измельчается с большей эффективностью в муку по сравнению с необработанной крупой. При этом происходит увеличение выхода гречневой муки фракции меньше 156 мкм только за счёт ИК-обработки на 4% по сравнению с необработанной крупой.

Установлено, что при измельчении гречневой крупы на дезинтеграторе происходит увеличение выхода мелкой фракции гречневой муки вне зависимости от типа обработки. Для фракции меньше 156 мкм увеличение составляет 23,4% по сравнению с вальцевым станком.

Получаемый продукт полностью соответствует требованиям качества и безопасности, которые предъявляются к традиционной муке для детского питания.

Литература

- Андреева А.А., Кирдяшкин В.В. Применение инфракрасной обработки при производстве зернового хлеба // *Хлебопродукты*. 2017. № 7. с. 54–56.
- Андреева А.А., Козлова Д.А., Кирдяшкин В.В. Определение режимных параметров термодеструкции перловой крупы при инфракрасной обработке // *Биотехнология и продукты биоорганического синтеза: материалы Национальной научно-практической конференции*. М.: М.У.П, 2018. с. 28–31.
- Афанасьев В.А. Теория и практика специальной обработки зерновых компонентов в технологии комбикормов. Воронеж: В.У. 2002. 296 с.
- Бахтина Д.С., Андреева А.А., Кирдяшкин В.В. Возможности применения инфракрасного излучения при производстве продуктов быстрого приготовления из зернобобовых культур // *Качество зерна, муки и хлеба: материалы докладов IV Международной конференции*. 2019. с. 201–203.
- Бачурская Л.Д., Гуляев В.Н. Пищевые концентраты. М.: Пищевая промышленность, 1976. 333 с.
- Беляева С.С. Исследования процесса инфракрасной сушки продуктов для диетического питания // *Процессы и аппараты пищевых производств*. 2012. № 2. с. 9.
- Бутковский В.А., Мельников Е.М. Технология мукомольного, крупяного и комбикормового производства (с основами экологии). М.: Агропромиздат, 1989. 464 с.
- Гинзбург А.С. Инфракрасная техника в пищевой промышленности. М.: Пищевая промышленность, 1966. 407 с.
- Гинзбург А.С. Инфракрасное излучение как метод интенсификации технологических процессов пищевых производств // *Проблемы пищевой науки и технологии*. М., 1967. с. 28–33.
- Гинзбург А.С., Ляховицкий Б.М. Генераторы инфракрасного излучения для пищевой промышленности. М.: Ц.И.ТЭИлегпищемаш, 1971. 71 с.
- Глебов Л.А., Демский А.Б., Веденьев В.Ф., Темиров М.М., Огурцов Ю.М. Технологическое оборудование предприятий отрасли: зерноперерабатывающие предприятия. М.: Д.Л. принт, 2006. 816 с.
- Голубкович А.В., Павлов С.А. Новые технологии и установка для инфракрасной сушки семян и зерна // *Сборник научных докладов В.М. М.: Изд-во В.М. 2011. с. 385–392.*
- Доронин А.Ф., Панфилова И.А., Кирдяшкин В.В. Проблемы и перспективы использования инфракрасной технологии при производстве продуктов питания на зерновой основе. М.: АгроНИИТЭИПП, 1997. 25 с.
- Зверев С.В. Высокотемпературная микронизация в производстве зернопродуктов. М.: Д.Л. Принт, 2009. 221 с.
- Козьмина Н.П. Биохимия зерна и продуктов его переработки. М.: Колос, 1976. 374 с.
- Коротеева Е.А., Неборская Н.Г., Березовикова И.П., Влощинский П.Е. Влияние микронизации на углеводный комплекс круп и семян зернобобовых // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2010. № 1. с. 31–34.
- Романчиков С.А. Технология интенсификации производства макаронных изделий с использованием ультразвукового воздействия – инфракрасного излучения // *Техника и технология пищевых производств*. 2018. Т. 48, № 3. с. 96–104. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-3-96-104>
- Саитова М.Э., Дубцов Г.Г. Гречневая мука в диетическом питании // *Кондитерское и хлебопекарное производство*. 2014. № 3–4(148). с. 14–15.
- Самарина Ю.Р., Якименко А.В., Кузнецов Е.Е. Подготовка зерна сои к длительному хранению с помощью инфракрасного излучения // *Агропромышленный комплекс: проблемы перспективы и развития. Тезисы докладов всероссийской научно-практической конференции*. Благовещенск, 2020. с. 75.
- Султанова М.Ж., Кизатова М.Е., Омариалиева А.М., Абдрахманов Х.А., Боровский А.Ю., Чаканова Ж.М. Обоснование режимов микронизации зерновых культур // *Вестник Алматинского технологического университета*. 2019. № 3. с. 69–73.
- Филатов В.В., Плаксин Ю.М., Кирдяшкин В.В., Азизов Р.Р., Елькин Н.В. Инфракрасные тех-

нологии в переработке зернового сырья // Хранение и переработка сельхозсырья. 2008. № 8. с. 76–78.

Цыбанева М.Н., Кирдяшкин В.В. Влияние тепловой обработки на качественные показатели

гречневой муки для детского питания // День науки: Общеуниверситетская научная конференция молодых учёных и специалистов, сборник материалов. М.: Ф.Б.У В.О.«МГУПП», 2015. с. 225.

Obtaining Highly Dispersed Buckwheat Flour for Baby Food Using Infrared Processing

Vladimir V. Kirdyashkin

*FSBEI HE "Moscow State University of Food Production"
125080, Moscow, Volokolamskoe highway, 11
E-mail: kirdyashkinvv@mgupp.ru*

Roman Kh. Kandrov

*FSBEI HE "Moscow State University of Food Production"
125080, Moscow, Volokolamskoe highway, 11
E-mail: nart132007@mail.ru*

Alesya A. Andreeva

*FSBEI HE "Moscow State University of Food Production"
125080, Moscow, Volokolamskoe highway, 11
E-mail: andreevaaa@mgupp.ru*

Vasily I. Shchebelev

*FSBEI HE "Moscow State University of Food Production"
125080, Moscow, Volokolamskoe highway, 11.
Skorpio96@mail.ru*

Baby food is an important part of the nutritional industry. Taking into account the peculiarities of the child's body, the foods that the child consumes must be specially prepared for children. In flour for baby food, the degree of digestibility correlates with the size of flour particles and the smaller the particles, the better it is absorbed by the child's body. This is due to the fact that in the process of grinding grain into flour, damage to starch grains occurs. The traditional technology for making flour involves the use of roller machines as the main technological equipment for grinding grain. With a high degree of grinding, energy consumption for flour production increases significantly. The purpose of the work is to develop a new technology for producing buckwheat flour for baby food using modern and advanced technological equipment and using infrared processing. The object of development is highly dispersed buckwheat flour for baby food using infrared processing. A promising way of obtaining fine flour from grain is the use of disintegrators. These machines provide finer grinding of the original grain with less energy consumption. According to the results of the experiments, it was found that the use of a disintegrator increases the yield of the finely ground flour fraction by 23,4% than when using a traditional roller mill. At the same time, the combined use of a disintegrator and infrared treatment (IR) treatment will make it possible to obtain flour for baby food with increased digestibility with greater economic efficiency and profitability.

Keywords: baby food, flour, grinding, digestibility, IR, energy consumption

References

- Afanas'ev V.A. Teoriya i praktika spetsial'noi obrabotki zernovykh komponentov v tekhnologii kombinirovannogo korma [Theory and practice of special processing of grain components in compound feed technology]. Voronezh: V.U. 2002, 296 p.
- Andreeva A.A., Kirdyashkin V.V. Primenenie infrakrasnoi obrabotki pri proizvodstve zernovogo khleba [The use of infrared processing in the production of grain bread]. *Khleboprodukty [Khleboprodukty]*, 2017, no. 7, pp. 54–56.
- Andreeva A.A., Kozlova D.A., Kirdyashkin V.V. Opredelenie rezhimnykh parametrov termodestruktsii perlovoi krupy pri infrakrasnoi obrabotke [Determination of the operating parameters of thermal destruction of pearl barley during infrared processing]. In *Biotekhnologiya i produkty biorganicheskogo sinteza: materialy Natsional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii [Biotechnology*

- and products of bioorganic synthesis. Proceedings of the national scientific and practical conference]. Moscow: M.U.P, 2018, pp. 28–31.
- Bachurskaya L.D., Gulyaev V.N. Pishchevye kontsentraty [Food concentrates]. Moscow: Pishchevaya promyshlennost', 1976. 333 p.
- Bakhtina D.S., Andreeva A.A., Kirdyashkin V.V. Vozmozhnosti primeneniya infrakrasnogo izlucheniya pri proizvodstve produktov bystrogo prigotovleniya iz zernobovykh kul'tur [Possibilities of using infrared radiation in the production of instant food from leguminous crops]. In *Kachestvo zerna, muki i khleba: materialy dokladov IV Mezhdunarodnoi konferentsii [The quality of grain, flour and bread. Proceedings of reports of the 4th International Conference]*, 2019, pp. 201–203.
- Belyaeva S.S. Issledovaniya protsessa infrakrasnoi sushki produktov dlya dieticheskogo pitaniya [Research of the process of infrared drying of products for dietetic nutrition]. *Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv [Processes and devices for food production]*, 2012, no. 2, pp. 9.
- Butkovskii V.A., Mel'nikov E.M. Tekhnologiya mukomol'nogo, krupyanogo i kombikormovogo proizvodstva [Technology of milling, cereals and feed production]. Moscow: Agropromizdat, 1989. 464 p.
- Doronin A.F., Panfilova I.A., Kirdyashkin V.V. Problemy i perspektivy ispol'zovaniya infrakrasnoi tekhnologii pri proizvodstve produktov pitaniya na zernovoi osnove [Problems and prospects of using infrared technology in the production of food products on a grain basis]. Moscow: AgroNIITEIPP, 1997. 25 p.
- Filatov V.V., Plaksin Yu.M., Kirdyashkin V.V., Azizov P.P., El'kin N.V. Infrakrasnye tekhnologii v pererabotke zernovogo syr'ya [Infrared technologies in the processing of grain raw materials]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya [Storage and processing of agricultural raw materials]*, 2008, no. 8, pp. 76–78.
- Ginzburg A.S. Infrakrasnaya tekhnika v pishchevoi promyshlennosti [Infrared technology in the food industry]. Moscow: Pishchevaya promyshlennost', 1966. 407 p.
- Ginzburg A.S. Infrakrasnoe izluchenie kak metod intensifikatsii tekhnologicheskikh protsessov pishchevykh proizvodstv. [Infrared radiation as a method of intensification of technological processes in food production]. In *Problemy pishchevoi nauki i tekhnologii [Problems of food science and technology]*. Moscow, 1967, pp. 28–33.
- Ginzburg A.S., Lyakhovitskii B.M. Generatory infrakrasnogo izlucheniya dlya pishchevoi promyshlennosti [Infrared radiation generators for the food industry]. Moscow: T.N.IITEIlegpishchemash, 1971. 71 p.
- Glebov L.A., Demskii A.B., Veden'ev V.F., Temirov M.M., Ogurtsov Yu.M. Tekhnologicheskoe oborudovanie predpriyatii otrasli: zernopere-rabatyvayushchie predpriyatiya [Technological equipment of the industry enterprises. Grain processing enterprises]. Moscow: D.L. print, 2006. 816 p.
- Golubkovich A.V., Pavlov S.A. Novye tekhnologii i ustanovka dlya infrakrasnoi sushki semyan i zerna [New technologies and installation for infrared drying of seeds and grain]. In *Sbornik nauchnykh dokladov V.M. [Collection of scientific reports All-Russian research institute of agricultural mechanization]*. Moscow: Izd-vo V.M. 2011, pp. 385–392.
- Koroteeva E.A., Neborskaya N.G., Berezovikova I.P., Vloshchinskii P.E. Vliyanie mikronizatsii na uglevodnyi kompleks krup i semyan zernobovykh [Influence of micronization on the carbohydrate complex of cereals and seeds of leguminous plants]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya [Storage and processing of agricultural raw materials]*, 2010, no. 1, pp. 31–34.
- Koz'mina N.P. Biokhimiya zerna i produktov ego pererabotki [Biochemistry of grain and products of its processing]. Moscow: Kolos, 1976. 374 p.
- Romanchikov S.A. Tekhnologiya intensifikatsii proizvodstva makaronnykh izdelii s ispol'zovaniem ul'trazvukovogo vozdeistviya – infrakrasnogo izlucheniya [Technology of intensification of production of pasta using ultrasonic exposure – infrared radiation]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv [Technics and technology of food production]*, 2018, vol. 48, no. 3, pp. 96–104. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-3-96-104>
- Saitova M.E., Dubtsov G.G. Grechnevaya muka v dieticheskom pitanii [Buckwheat flour in dietary nutrition]. *Konditerskoe i khlebopekarnoe proizvodstvo [Confectionery and bakery production]*, 2014, no. 3–4(148), pp. 14–15.
- Samarina Yu.R., Yakimenko A.V., Kuznetsov E.E. Podgotovka zerna soi k dlitel'nomu khraneniyu s pomoshch'yu infrakrasnogo izlucheniya [Preparation of soybean grain for long-term storage using infrared radiation]. In *Agropromyshlennyy kompleks: problemy perspektivy i razvitiya: tezisy dokladov vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [Agro-industrial complex: problems of prospects and development. Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference]*. Blagoveshchensk, 2020, pp. 75.
- Sultanova M.Z., Kizatova M.E., Omaralieva A.M., Abdrahmanov Kh.A., Borovskii A.Y., Chakanova Zh.M. Obosnovanie rezhimov mikronizatsii zernovykh kul'tur [Substantiation of micronization modes of grain crops]. *Vestnik Almatinskogo tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of the Almaty technological university]*, 2019, no. 3, pp. 69–73.

- Tsybaneva M.N., Kirdyashkin V.V. Vliyanie teplovoi obrabotki na kachestvennye pokazateli grechnevoi muki dlya detskogo pitaniya [Influence of heat treatment on quality indicators of buckwheat flour for baby food]. In Den' nauki: obshcheuniversitetskaya nauchnaya konferentsiya molodykh uchenykh i spetsialistov, sbornik materialov [*Science Day*. Proceedings of the University-wide scientific conference of young scientists and specialists]. Moscow: F.B.U V.O.«MGUPP», 2015, p. 225.
- Zverev S.V. Vysokotemperaturnaya mikronizatsiya v proizvodstve zernoproduktov [High-temperature micronization in the production of grain products]. Moscow: D.L. Print, 2009. 221 p.

Модель стабилизации субстанций каротиноидов

Курегян Анна Гургеновна

*Пятигорский медико-фармацевтический институт –
филиал Ф.Б.У ВО ВолгГМУ Минздрава России
Адрес: 3573352, Ставропольский край, г. Пятигорск, пр. Калинина, д 11
E-mail: Kooreguan@mail.ru*

Степанова Элеонора Федоровна

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

Печинский Станислав Витальевич,

*Пятигорский медико-фармацевтический институт –
филиал Ф.Б.У ВО ВолгГМУ Минздрава России
Адрес: 3573352, Ставропольский край, г. Пятигорск, пр. Калинина, д 11
E-mail: hplc@yandex.ru*

Оганесян Эдуард Тоникович

*Пятигорский медико-фармацевтический институт –
филиал Ф.Б.У ВО ВолгГМУ Минздрава России
Адрес: 3573352, Ставропольский край, г. Пятигорск, пр. Калинина, д 11
E-mail: edwardov@mail.ru*

Расширение и углубление фармакологических исследований каротиноидов определило возобновление более детального интереса к межотраслевому изучению этих соединений. Микрокапсулирование является перспективным методом стабилизации данного класса соединений. В связи с этим поиск инструмента эффективного и рационального исследования процесса микрокапсулирования является актуальным научным направлением. Целью настоящего исследования являлось микрокапсулирование каротиноидов и построение соответствующей теоретической модели их стабилизации в нотации IDEF0 (Integration Definition for Function Modeling). Теоретический аспект работы – это предварительное логическое структурирование процесса стабилизации каротиноидов в нотации IDEF0. Экспериментальная часть исследования заключалась в стабилизации четырех природных субстанций каротиноидов: β -каротина, ликопина, лютеина, астаксантина. С этой целью был применен метод микрокапсулирования. Получение микрокапсул с четырьмя изучаемыми субстанциями каротиноидов проведено тремя способами: простой коацервацией, экструзией без нагревания, диспергированием в несмешивающейся жидкости. Сравнительное изучение стабильности экспериментальных серий микрокапсулированных субстанций каротиноидов и субстанций без включения в микрокапсулы проводили в естественных условиях: при температуре 25°C, при отсутствии воздействия света и «хранении на свету», во флаконах темного и прозрачного стекла. Анализ микрокапсул в процессе хранения осуществлен методом спектрофотометрии. Нотация IDEF0 впервые применена для построения модели стабилизации субстанций, в частности каротиноидов. Правильность разработанной модели подтверждена экспериментально: по данным, полученным в соответствии с предложенной IDEF0 моделью, наиболее эффективным для микрокапсулирования каротиноидов признано диспергирование в несмешивающейся жидкости. Все четыре микрокапсулированные субстанции каротиноидов оставались стабильными в течение двух лет. Полученные результаты решают вопросы стабилизации субстанций индивидуальных каротиноидов и расширяют возможности их межотраслевого использования, т.к. полиеновая цепь, которая детерминирует совокупное биологическое действие каротиноидов и их основные физико-химические свойства, одновременно обуславливает их низкую стабильность за счет активного окисления и изомеризации в процессе получения, очистки и хранения. Кроме того, принцип теоретической модели стабилизации каротиноидов в нотации IDEF0 может быть служить основой для создания моделей стабилизации других соединений.

Ключевые слова: IDEF0, β -каротин, ликопин, лютеин, астаксантин, микрокапсулы, стабилизация

Введение

Современная цивилизация ежедневно сталкивается с увеличением потребления соединений синтетического происхождения, к которым можно отнести лекарственные средства (ЛС), ветеринарные препараты, пестициды, объекты бытовой химии, некоторые пищевые добавки и биологически активные добавки к пище (БАД). Преодолевая эту проблему, мы вступаем в противоречие между общим стремлением вести здоровый образ жизни и невозможностью отказаться от высокоэффективных синтетических ЛС, пестицидов, ветеринарных препаратов и экономической доступностью крупнотоннажного химического синтеза веществ, незаменимых в быту современного человека.

Разрешению этих противоречий может способствовать внедрение «зеленых технологий» («green technology»), в том числе эффективных производств субстанций природного происхождения, способных конкурировать с их синтетическими аналогами.

По нашему мнению, целесообразным в этом направлении является создание технологии производства природных субстанций с качеством, соответствующим требованиям, предъявляемым к фармацевтическим объектам. Соединения с таким уровнем качества могут иметь успешное перекрестное межотраслевое применение в медицине, пищевой промышленности, спортивном питании и сельском хозяйстве.

Повышение современного уровня фармакологических исследований каротиноидов (Tanaka, Shnimizu, Moriwaki, 2012, p. 3202–3242), накопление данных о видах активности (Britton, Liaaen-Jensen, Pfander, 2009; Krinsky, Mayne, Sies, 2004) стимулируют более углубленное и детальное межотраслевое изучение этих соединений (Попов, Кривошапко, Артюков, 2013, с. 13–30). Кроме того, природные соединения этого класса во многом остаются незаменимыми и безопасными пищевыми красителями (Gateau, Solymosi, Marchand, Schoefs, 2017, p. 1140–1172).

Полиеновая цепь детерминирует совокупное биологическое действие каротиноидов и их основные физико-химические свойства. Однако именно присутствие этого структурного фрагмента определяет активное окисление и изомеризацию ка-

ротиноидов в процессе получения, очистки и хранения (Britton, Liaaen-Jensen, Pfander, 2004). Такая особенность значительно затрудняет широкое промышленное использование индивидуальных каротиноидов¹, поэтому исследование вопросов стабилизации данного класса соединений имеет теоретические и практические перспективы.

Мы считаем микрокапсулирование проекционным методом стабилизации каротиноидов. Этот технологический прием может обеспечить стабильность субстанций индивидуальных каротиноидов в процессе производства и хранения, а также инициировать модификацию их традиционного применения в различных промышленных отраслях, например, расширит диапазон использования каротиноидов как активных ингредиентов в составе ЛС, ветеринарных препаратов, функциональных продуктов питания и пищевых красителей.

В связи с вышеизложенным, поиск инструментария, позволяющего эффективно и рационально изучать и реализовывать микрокапсулирование субстанций каротиноидов, является актуальным научным направлением.

Нотация IDEF0 (Integration Definition For Function Modeling) представляет собой вариант моделирования функциональных систем, к которым можно отнести и научный эксперимент, и производственную деятельность. Главным преимуществом модели IDEF0 является логическая визуализация процесса. Это обеспечивается функционированием графического языка иерархии диаграмм, построенной с учетом правил национального стандарта РФ (Р 50.1.028–2001²).

Успешное применение функционального моделирования продемонстрировано при совершенствовании информационных библиотечных систем (Доронина, 2013, с. 71–76), внедрении инноваций в управление производством (Комаров, Корсунь, 2011, с. 248–267), анализе функционирования компаний жилищно-коммунального хозяйства (Барклаевская, Лахманова, 2015, с. 83–88), разработке производственной стратегии (Заводчиков, Землянкина, 2015, с. 10–14), оптимизации работы учебных заведений (Ахтеров, Лезина, Федоров, 2010, с. 10–17; Доронина, 2014, с. 102–108).

Медицинская направленность использования IDEF0 моделирования проявилась в оптимизации тера-

¹ Государственный реестр лекарственных средств. U.L. <http://grls.rosminzdrav.ru>. (дата обращения: 15.08.2020).

² Р 50.1.028–2001. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования. М.: Госстандарт России, 2003. 54 с.

пии различных нозологий желудочно-кишечного тракта (Потахин, Шапкин, 2017, с. 590–600), сердечно-сосудистой системы (Киселев, Шварц, Водолазов, Посненкова, Гриднев, 2014), врожденных патологий (Ершова, Леонов, Ткаченко, Долгополова, 2014, с. 26–35). Помимо этого технология IDEFO применена в системе организации электронной медицинской помощи (Ланцберг, Тройч, Булдакова, 2011, с. 28–37; Азанов, 2016, с. 13–29) и медицинского страхования (Тараник, Копаница, 2015, с. 75–84). В фармацевтической отрасли метод IDEFO был применен для оптимизации организации процесса изготовления лекарственных форм (ЛФ) в условиях аптечных организаций, выполняющих производственные функции (Филина, Раздорская, 2015, с. 136–140, Семканова, 2017, с. 139–143). В области технологии изготовления и получения ЛС применение этого метода моделирования описано в работах (Голод, Кривовяз, Кривовяз, Семененко, Томашевская, Ковальская, 2013, с. 35–37; Курегян, Степанова, Печинский, Оганесян, 2018, с. 80–89).

Визуальное структурирование процесса стабилизации субстанций каротиноидов в нотации IDEFO позволит получить логичную систему-модель, которую другие исследователи могли бы использовать для дизайна и прогноза результатов собственных исследований.

Цель исследования – микрокапсулирование каротиноидов и построение соответствующей модели стабилизации в нотации IDEFO

Материалы и методы исследования

Материалы

Использованные в эксперименте субстанции β -каротина, ликопина, лютеина, астаксантина были получены ранее по методике, описанной в работе (Курегян, Печинский, 2016, с. 22–27).

Методы и процедура исследования

Микрокапсулирование каротиноидов проводили в лабораторных условиях тремя способами.

Способ простой коацервации (Солодовник, 1980; Литвишко В.С., Литвишко О.В., 2016, с. 50–53): в раствор желатина с концентрацией 10% по типу суспензии вводят субстанцию каротиноида, выдерживая соотношение вещество:полимер – 1:1. Осаждение микрокапсул проводят или 5%, или 10%, или 20% раствором одной из солей: сульфа-

тов калия, аммония, натрия; хлоридов калия, аммония, натрия; ацетатов калия, аммония, натрия. Экспериментальные соотношения полимер:соль-осадитель составляют 2:1, 1:1, 1:2. Все получаемые капсулы промывают микрокапсулы изобутанолом.

Экструзия без нагревания (Ковязина, Николаева, Функнер, Ефимова, 2014, с. 205–210; Кролевец, Тырсин, Быковская, 2012, с. 123–127): получают суспензию каротиноида в воде объемом от 2,5 до 5 мл. Готовят раствор полимера (желатина) с концентрациями 20%, 30%, 40%, 50%. Суспензии каротиноидов диспергируют в растворе полимера с минимальным количеством эмульгатора Твина-80. В качестве отверждающего агента используют 0,2 М раствор кальция хлорида или воду при температуре +5°C.

Диспергирование в несмешивающейся жидкости осуществляли в соответствии с традиционной методикой (Солодовник, 1980; Кролевец, Тырсин, Быковская, 2012, с. 123–127): масло помещают в реактор для получения микрокапсул. Раствор полимера с диспергированным в нем каротиноидом вводят в масло, перемешивают в течение 10 минут, поддерживая скорость вращения мешалки – 29–30 об/мин. Диспергирование ведут до формирования мягких микрокапсул. Далее температуру реактора резко снижают до 15°C. Отделение микрокапсул от масла проводят декантацией. Готовые микрокапсулы промывают изобутанолом, сушат при температуре от 15 до 25 °C в течение 8 ч.

Методика определения каротиноидов β -каротина, ликопина, лютеина, астаксантина в микрокапсулах: навеску растертых микрокапсул около 0,2 г (точная навеска), помещают в делительную воронку, прибавляют 25 мл н-гексана, встряхивают 5 мин, добавляют 10 мл раствора натрия гидрокарбоната 10% и 75 мл н-гексана. Проводят экстракцию в течение 30 мин, далее органический слой отделяют, фильтруют. 1 мл н-гексанового фильтрата переносят в мерную колбу вместимостью 25 мл и доводят объем раствора н-гексаном до метки и перемешивают.

Измеряют оптическую плотность полученного раствора для лютеина при 445 нм, для β -каротина при 450 нм, для астаксантина при 468 нм, для ликопина при 470 нм (Britton, Liaaen-Jensen, Pfander, 2004; Курегян, Печинский, 2016, с. 22–27). Параллельно измеряют оптическую плотность 0,0002% раствора стандартного образца соответствующего каротиноида (β -каротина (7235–40–7 Sigma-Aldrich), ликопина (L9879 Sigma), лютеина (127–40–2 Sigma-Aldrich), астаксантина (A3236 Sigma) в н-гексане.

Содержание каротиноидов рассчитывают, учитывая оптические плотности испытуемого, стандартного растворов и коэффициент разведения равный 2500.

Логическое структурирование стабилизации каротиноидов осуществляли в нотации IDEF0 IDEF0 модель – это тексто-графическое междиagramмное отображение производственной системы через логическую связь блоков при помощи дуг-интерфейсов: управляют системой факторы, входящие в блок сверху; слева отображаются объекты, которые обрабатываются в процессе работы модели; внизу показывают интерфейсы, без которых невозможно функционирование системы; справа от блока модели всегда изображается результат или практическая значимость модели. Строгое и последовательное выполнение требований методологии IDEF0, способствует однозначной трактовке диаграмм, их иерархическому объединению и обеспечивает правильность функционирования построенной модели (Р 50.1.028–2001).

Результаты и их обсуждение

Процесс стабилизации каротиноидов отражен на контекстной диаграмме в виде блока «Стабилизировать субстанцию каротиноида» и представлен

на Рисунке 1. В данном случае исследовательский и/или производственный процессы можно планировать и прогнозировать, если учитывать взаимосвязь управлений, входов, механизмов и выходов.

Входами в контекстной диаграмме являются субстанции каротиноидов и вспомогательные вещества, необходимые для процесса стабилизации, методы и методики анализа каротиноидов, т.к. они обязательно будут адаптированы для уже стабильных субстанций. Управления контекстной диаграммы оказывают регулирующее влияние на все действия модели. С целью получения субстанций заведомо высокого качества, соответствующего требованиям, предъявляемым к фармацевтическим объектам, в качестве одного из управлений нами выбрана государственная фармакопея РФ. Под механизмами в данном случае подразумевается все, что требуется для проведения технологического и аналитического экспериментов. В качестве выходов нами выбраны компоненты ожидаемого суммарного практического результата функционирования модели.

При построении модели IDEF0 используют ключевое правило: любой блок родительской диаграммы можно детализировать, создавая дочерние диаграммы. Их число может быть произволь-

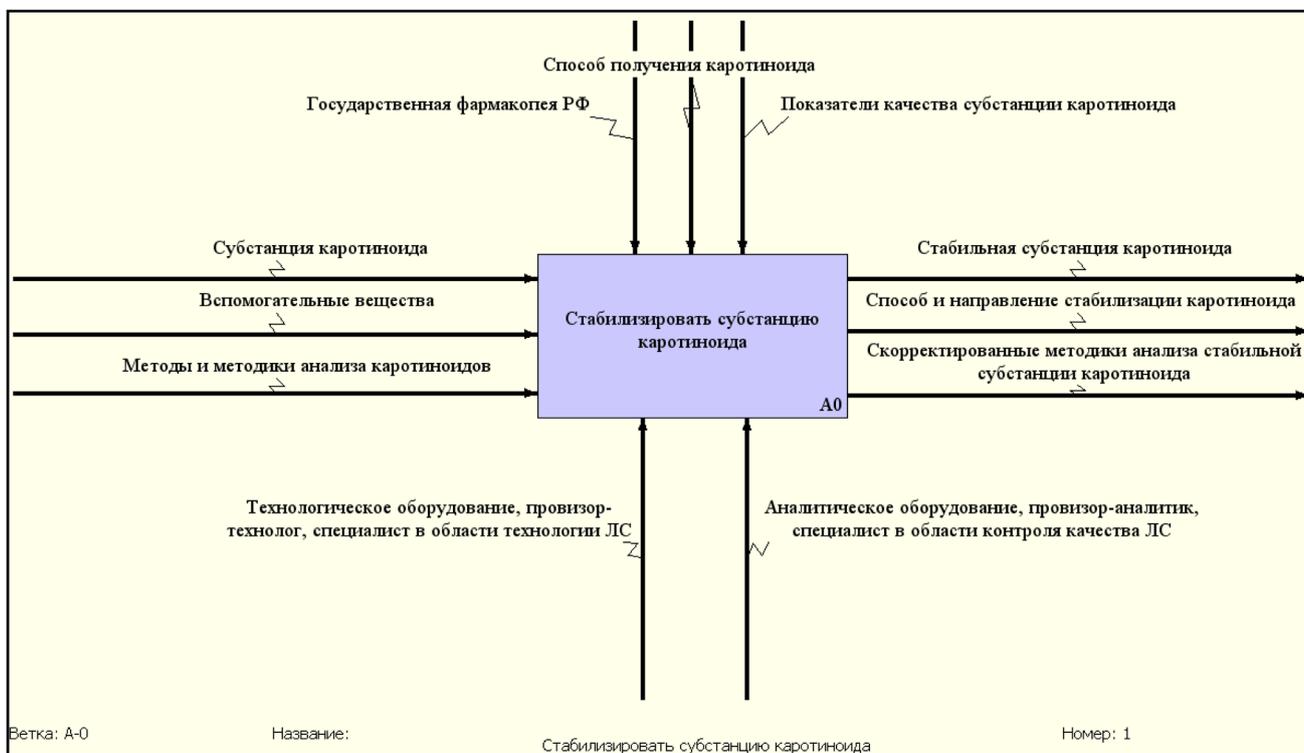


Рисунок 1. Контекстная диаграмма.

ным, но каждая дочерняя диаграмма должны объединять от трех до шести блоков, т.е. это считается оптимальным для понимания сути детализации. Потребность в детализации и число ее уровней автор модели определяет самостоятельно (Р 50.1.028–2001).

Контекстная диаграмма, представленная на Рисунке 1, отражает основную цель моделируемого процесса. Эффективная реализация контекстного блока возможна только при условии последующей детализации. Диаграмма детализации первого уровня показана на Рисунке 2 и состоит из четырех блоков А1, А2, А3 и А4.

С учетом физико-химических особенностей каротиноидов – термолабильности, светочувствительности, высокой восстановительной активности – и возможности дальнейшей адаптации технологии для предприятий в качестве метода стабилизации нами было выбрано микрокапсулирование. Анализ диаграммы детализации первого уровня показывает, что блок А2, будучи наиболее экспериментально емкой частью модели, нуждается в дополнительной детализации. Эксперимент по получению микрокапсул с индивидуальными каротиноидами ранее не проводился. В связи с этим для его эффективности следовало предварительно построить производственную IDEF0 модель,

включающую несколько наиболее простых и соответствующих физико-химическим свойствам каротиноидов способов микрокапсулирования.

Второй уровень детализации представлен на Рисунке 3 и подразумевает экспериментальное микрокапсулирование отдельных каротиноидов в рамках каждого из способов (блоки А21, А22, А23). Блок А24 отражает этап интерпретации, анализа экспериментальных данных и выбора способа стабилизации.

В соответствии с блоком А21 Рисунка 3 было проведено сравнительное изучение условий получения микрокапсул простой коацервацией в условиях описанных выше. В эксперименте было использовано девять растворов осадителей и три соотношения полимер:соль-осадитель. Как показали результаты эксперимента, только раствор натрия сульфата с концентрацией 20% при оптимальном соотношении полимер:соль-осадитель 1:2 способствует конструированию микрокапсул со всеми изученными каротиноидами.

Поскольку каротиноиды являются термолабильными соединениями, далее для конструирования микрокапсул применили экструзию без нагревания. В сравнительном эксперименте были изучены четыре концентрации пленкообразователя и

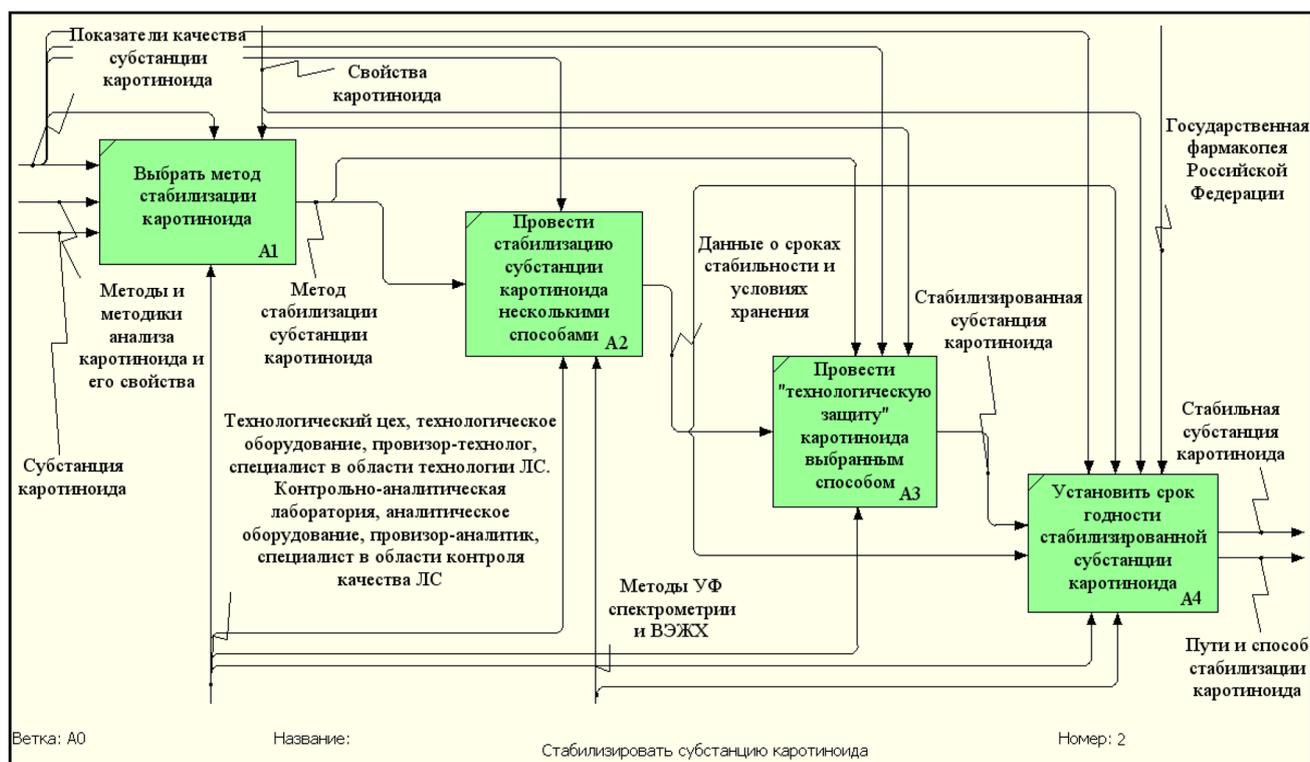


Рисунок 2. Детализация первого уровня А1 «Стабилизировать субстанцию каротиноида».



Рисунок 3. Диаграмма второго уровня детализации.

два отверждающих агента. Установлено, что микрокапсулирование происходит из 30% и 40% растворов желатина и при использовании обоих изученных отверждающих агентов.

Апробация микрокапсулирования каротиноидов диспергированием в несмешивающейся жидкости показала, что оптимальные технологические характеристики имели микрокапсулы, которые получили, используя в качестве пленкообразователя и пластификатора раствор глицерина 30%. Введение диоксида титана – 0,2% от желатиновой массы – продиктовано светочувствительностью каротиноидов. Как несмешивающиеся жидкости были апробированы масла подсолнечное, оливковое, вазелиновое. В процессе стабилизации каротиноидов этим способом изучались некоторые факторы, оказывающие влияние на технологические показатели микрокапсул: количество пластификатора (1,5 – 6,0%); минеральная или органическая несмешивающаяся жидкость; соотношение гидрофильной и гидрофобной фаз (1:2, 1:3, 1:5); температура формирования микрокапсул – 40°C и 50°C.

Получение микрокапсул диспергированием в несмешивающейся жидкости выявило оптимальную концентрацию глицерина в желатиновой массе – 3%. Установлено, что микрокапсулы неоднородной формы образовывались в гидрофобной среде

оливкового и вазелинового масел, а подсолнечное масло обеспечило сферическую форму конечного продукта. Оба значения температуры обеспечивали образование микрокапсул.

Для того чтобы отдать предпочтение одному или рекомендовать все, использованные в эксперименте способы микрокапсулирования, для стабилизации каротиноидов следовало реализовать этап блока A24 «Определить и сравнить технологические характеристики микрокапсул». В качестве технологических характеристик микрокапсул нами были выбраны процент включения активного компонента, внешний вид и фракционный состав микрокапсул, агрегация микрокапсул.

Сравнительный анализ технологических характеристик микрокапсул, полученных путем простой коацервации, показал, что они имели правильную округлую форму, но при этом наблюдалась агрегация. Микрокапсулы со сходными внешним видом и фракционным составом содержали около 69% активного вещества и были сформированы с применением 20% раствора натрия сульфата. Однако уровень включения каротиноидов является низким (Солодовник, 1980), что послужило основной причиной отказа от этого способа микрокапсулирования.

Способом экструзии без нагревания микрокапсулы были получены из 30 и 40% раствора желатина.

При этом 30% раствор полимера приводил к формированию неоднородных по форме микрокапсул, а 40% раствор способствовал образованию микрокапсул с округлой формой. Основная технологическая трудность экструзии – получение суспензии с равномерным распределением каротиноида. Вероятней всего, это является причиной образования значительного числа «пустых» микрокапсул (около 30%), поэтому данный способ был признан неэффективным для стабилизации каротиноидов.

Диспергирование в несмешивающейся жидкости позволяет получать микрокапсулы с максимально гомогенным фракционным составом, если при этом использовать в качестве дисперсионной среды масло подсолнечное, подогретое до 40°C или 50°C, и соотношение полимер:масло – 1:3. Принимая во внимание то, что каротиноиды термочувствительны, была выбрана температура их формирования – 40°C. Более рациональное расходование масла обеспечивает соотношение полимер:масло 1:3.

Полученный экспериментальный материал показал, что для изученных объектов в качестве способа микрокапсулирования предпочтительнее использовать диспергирование в несмешивающейся жидкости.

Необходимо подчеркнуть, что блоки А1 «Выбрать метод стабилизации каротиноида» и А2 «Провести стабилизацию субстанции каротиноида несколькими способами» первого уровня детализации могут быть реализованы посредством любого другого технологического приема. Оптимального результата можно достичь, принимая во внимание особенности свойств и показателей качества каротиноидов, т.е. моделировать процесс в соответствии с управляющими интерфейсами.

Далее согласно блоку А23 диаграммы второго уровня детализации и детализации первого уровня после выбора оптимального способа микрокапсулирования была проведена «технологическая защита» каротиноидов, т.е. получены экспериментальные серии образцов микрокапсул с β-каротином, ликопином, лютеином и астаксантином выбранным способом – диспергированием в несмешивающейся жидкости.

Поскольку основная задача микрокапсулирования каротиноидов – их стабилизация, то определить правильно ли выбрано направление стабилизации каротиноидов можно по результатам эксперимента, закрепленного в блоке А4 детализации первого уровня, представленной на Рисунке 2. Для

этого провели сравнительное изучение стабильности экспериментальных серий микрокапсулированных субстанций каротиноидов и субстанций без включения их в микрокапсулы в естественных условиях: при температуре 25°C, при отсутствии воздействия света и «хранении на свету», во флаконах темного и прозрачного стекла.

Установлено, что для всех микрокапсулированных субстанций при хранении без доступа света содержание активного компонента оставалось на уровне 100% в течение двух лет. Для не микрокапсулированных каротиноидов в аналогичных условиях хранения содержание действующего вещества после первого года хранения составило около 98,7%. Содержание каротиноидов в микрокапсулах при «хранении на свету» по истечении двух лет составило около 99,9%. Отдельно следует отметить, что образцы каротиноидов, не включенные в микрокапсулы, в этих же условиях оказались стабильны лишь в течение трех месяцев. Полученные экспериментальные данные определили рекомендации по условиям хранения микрокапсулированных индивидуальных каротиноидов: в непрозрачной таре или таре темного стекла, предохраняя от действия света.

Таким образом, экспериментальные данные по хранению каротиноидов подтвердили правильность выбранного направления стабилизации, показали адекватность функционирования модели и позволили установить предварительный срок годности индивидуальных субстанций каротиноидов, который составил два года.

Любое научное исследование должно иметь возможность дальнейшего экспериментального развития и практического применения. Положительный эксперимент по стабилизации каротиноидов позволяет нам предположить основные векторы развития данного направления с точки зрения межотраслевого использования. Основным является то, что какой бы не была отрасль применения микрокапсулированных каротиноидов, предложенный тип «защиты» их структуры позволил увеличить срок годности субстанций с трех месяцев до двух лет, что позволяет работать с данными соединениями на качественно новом уровне, потому что первоочередной причиной отсутствия масштабных исследований являлась их нестабильность. Поскольку каротиноиды содержатся во всех растениях, причем уровень содержания для многих видов сельскохозяйственного сырья значительно превышает таковое в лекарственном растительном сырье (Britton, Liaaen-Jensen, Pfander 2009; Krinsky, Mayne, Sies 2004), то этот факт позволяет предпо-

ложить, что именно оптимизация переработки сельскохозяйственной продукции позволит расширить сырьевую базу для природных лекарственных средств. Другим направлением практического применения микрокапсулированных каротиноидов можно считать создание функциональных продуктов питания и ветеринарных препаратов. Еще одной многообещающей сферой использования микрокапсулированных каротиноидов, связанной с современным пониманием их антиоксидантной активности, может стать спортивная медицина и питание. Рецепторный аппарат организма человека эволюционно адаптирован к взаимодействию с соединениями этого класса, т.е. каротиноиды не являются для нас «абсолютно чужеродными» соединениями, что в совокупности может решить некоторые вопросы по повышению выносливости во время соревнований и подготовки к ним. Безусловно, что возможность стабилизации таких лабильных соединений, как каротиноиды открывает перспективу дальнейшей работы с ними как с модельными соединениями для последующей химической оптимизации структуры и расширения ассортимента лекарственных форм с каротиноидами. Дальнейшее теоретическое развитие наших результатов может проявиться в переносе и применении принципов IDEF0 моделирования технологии стабилизации на другие классы биологически активных соединений.

Выводы

Впервые предложена и построена модель стабилизации субстанций каротиноидов в нотации IDEF0. Разработан технологический вариант стабилизации каротиноидов методом микрокапсулирования и выбран оптимальный способ. Адекватность разработанной модели подтверждена экспериментально: полученные данные опровергли выбор способов коацервации и экструзии в соответствии с предложенной IDEF0 моделью, а наиболее эффективным для микрокапсулирования каротиноидов признан способ диспергирования в несмешивающейся жидкости.

Литература

Азанов В.Г. Структурно-функциональная модель управления потоками пациентов региональной консультативной поликлиники // Системы и средства информатики. 2016. Т. 26, № 1. с. 13–29. <https://doi.org/10.14357/08696527160102>
Ахтеров А.В., Лезина О.В., Федоров И.В. Системная модель информационно-образовательной сре-

ды выпускающей кафедры вуза // Вестник Московского автомобильно-дорожного института (Государственного технического университета). 2010. № 12. с. 12а-17.
Барклаевская Н.В., Лахманова И.Е. Два взгляда на анализ предметной области // Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире. 2015. № 12–1. с. 83–88.
Голод А.С., Кривовяз Е.В., Кривовяз С.А., Семенов С.И., Томашевская Ю.А., Ковальская Л.В. Функциональное моделирование в построении технологических схем для мягких лекарственных форм // Фармация. 2013. № 5. с. 35–37.
Доронина И.Н. Методология S.D. в библиотечном деле // Библиосфера. 2013. № 4. с. 71–76.
Доронина И.Н. Моделирование учебных кластеров с использованием метода структурного анализа и проектирования (SADT) // Интеграция образования. 2014. № 1. с. 102–108. <https://doi.org/10.15507/Inted.74.018.201401.102>
Ершова О.Ю., Леонов А.Г., Ткаченко А.Е., Долгополова Г.В. Комплексный подход к реабилитации детей с врожденной расщелиной верхней губы и неба в условиях специализированного центра // Система интеграции в здравоохранении. 2014. № 1(23). с. 26–35.
Заводчиков Н.Д., Землянкина А.С. Разработка производственной стратегии хлебопекарного предприятия с применением S.D.-технологии // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 2. с. 10–14.
Киселев А.Р., Шварц В.А., Водолазов А.М., Посненкова О.М., Гриднев В.И. Организационно-технологическая модель оказания медицинской помощи больным с хронической сердечной недостаточностью [Электронный ресурс] // Кардио-ИТ. 2014. № 3. <https://doi.org/10.15275/cardioit.2014.0304>
Ковязина Н.А., Николаева А.М., Функнер Е.В., Ефимова М.Г. Изучение возможности микрокапсулирования бактериофага // Научные ведомости БелГУ. Серия: Медицина. Фармация. 2014. № 24(195). с. 205–210.
Комаров В.Ф., Корсунь К.П. Проблемы и методы внедрения управленческих инноваций // Регион: экономика и социология. 2011. № 1. с. 248–267.
Кролевец А.А., Тырсин Ю.А., Быковская Е.Е. Применение нано- и микрокапсулирования в фармацевтике и пищевой промышленности. Часть I. Основы микрокапсулирования // Вестник российской академии естественных наук. 2012. № 4. с. 123–127.
Курегян А.Г., Печинский С.В. Получение каротиноидов и их идентификация методами спектроскопии в ИК- и УФ- областях // Вопросы биоло-

- гической, медицинской и фармацевтической химии. 2016. № 1. с. 22–27.
- Курегян А.Г., Степанова Э.Ф., Печинский С.В., Оганесян Э.Т. Методология изучения каротиноидов и создания лекарственных средств на их основе в нотации IDEF0 // Астраханский медицинский журнал. 2018. № 2(13). с. 80–89. <https://doi.org/10.17021/2018.13.2.80.89>
- Ланцберг А.В., Тройч К., Булдакова Т.И. Особенности оценки качества медицинской электронной услуги // Информационное общество. 2011. № 4. с. 28–37.
- Литвишко В.С., Литвишко О.В. Микрокапсулированные пестициды на основе студнеобразных систем // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6(1). с. 50–53.
- Попов А.М., Кривошапко О.Н., Артюков О.Н. Перспективы клинического применения астаксантина и других оксигенированных каротиноидов // Биофармацевтический журнал. 2013. № 5(5). С. 13–30.
- Потахин С.Н., Шапкин Ю.Г. Разработка организационно-технологической модели оказания помощи больным язвенными гастродуоденальными кровотечениями // Бюллетень медицинских Интернет-конференций. 2017. Т. 7, № 2. с. 590–600.
- Семканова В.А. Качество медицинских услуг и агентное моделирование // Научные достижения и открытия современной молодёжи: сборник статей победителей международной научно-практической конференции. Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2017. Т. 1. с. 139–143.
- Солодовник В.Д. Микрокапсулирование. М.: Химия, 1980. 216 с.
- Тараник М.А., Копаница Г.Д. Анализ процесса контроля качества оказания медицинской помощи в рамках программы обязательного медицинского страхования // Вестник Томского государственного университета. 2015. № 3(32). с. 75–84. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2015-3-40-48>
- Филина И.А., Раздорская И.М. Моделирование бизнес-процессов в аптечной практике // Научные ведомости БелГУ. 2015. Вып. 29: Медицина. Фармация. № 4(201). с. 136–140.
- Britton G., Liaaen-Jensen S., Pfander, H. Carotenoids. Vol. 5: Nutrition and health. Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser Verlag, 2009. 464 p.
- Britton G., Liaaen-Jensen S., Pfander H. Carotenoids handbook. Basel AG: Springer, 2004. 646 p.
- Gateau H., Solymosi K., Marchand J., Schoefs B. Carotenoids of microalgae used in food industry and medicine // Mini-Reviews in Medicinal Chemistry. 2017. Vol. 17, issue 13. P. 1140–1172. <https://doi.org/10.2174/1389557516666160808123841>
- Krinsky N.I., Mayne S.T., Sies H. Carotenoids in health and disease. New York: Dekker, 2004. 576 p.
- Tanaka T., Shnimizu M., Moriwaki H. Cancer chemoprevention by carotenoids // Molecules. 2012. Vol. 17, issue 3. P. 3202–3242. <https://doi.org/10.3390/molecules17033202>

Carotenoid Substance Stabilization Model

Anna G. Kuregyan

*Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute
branch of F.B.I HE VolgGMU of the Ministry of Health of Russia
11, Kalinin Ave. Pyatigorsk, Stavropol Territory, 3573352, Russian Federation
E-mail: Kooreguan@mail.ru*

Eleanora F. Stepanova

*Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute -
branch of F.B.I HE VolgGMU of the Ministry of Health of Russia
11, Kalinin Ave. Pyatigorsk, Stavropol Territory, 3573352, Russian Federation,
E-mail: e.f.stepanova@mail.ru*

Stanislav V. Pechinsky

*Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute
branch of F.B.I HE VolgGMU of the Ministry of Health of Russia
11, Kalinin Ave. Pyatigorsk, Stavropol Territory, 3573352, Russian Federation
E-mail: hplc@yandex.ru*

Edward T. Oganesyanyan

*Pyatigorsk Medical and Pharmaceutical Institute
branch of F.B.I HE VolgGMU of the Ministry of Health of Russia
11, Kalinin Ave. Pyatigorsk, Stavropol Territory, 3573352, Russian Federation
E-mail: edwardov@mail.ru*

The expansion and deepening of pharmacological research on carotenoids has led to a renewed interest in cross-sectoral studies of these compounds. Microencapsulation is a promising method for stabilizing this class of compounds. In this regard, the search for an effective and rational study of the microencapsulation process is an actual scientific direction. The aim of this study was the microencapsulation of carotenoids and the construction of an appropriate theoretical model for their stabilization in IDEFO (Integration Definition for Function Modeling) notation. The theoretical aspect of the work is a preliminary logical structuring of the carotenoid stabilization process in the IDEFO notation. The experimental part of the study consisted in the stabilization of four natural substances of carotenoids: β -carotene, lycopene, lutein, astaxanthin. For this purpose, the microencapsulation method was applied. The preparation of microcapsules with four studied carotenoid substances was carried out in three ways: simple coacervation, extrusion without heating, and dispersion in an immiscible liquid. A comparative study of the stability of experimental series of microencapsulated substances of carotenoids and substances without inclusion in microcapsules was carried out under natural conditions: at a temperature of 25°C, in the absence of exposure to light and "storage in the light", in dark and transparent glass vials. Analysis of microcapsules during storage was carried out by spectrophotometry. The IDEFO notation was first used to build a model for the stabilization of substances, in particular carotenoids. The correctness of the developed model is confirmed experimentally: according to the data obtained in accordance with the proposed IDEFO model, dispersion in an immiscible liquid is recognized as the most effective for microencapsulation of carotenoids. All four microencapsulated carotenoid substances remained stable for two years. The results obtained solve the problems of stabilization of the substances of individual carotenoids and expand the possibilities of their inter-industry use, because the polyene chain, which determines the combined biological effect of carotenoids and their basic physicochemical properties, simultaneously determines their low stability due to active oxidation and isomerization during production, purification and storage. In addition, the principle of the theoretical model of carotenoid stabilization in IDEFO notation can serve as a basis for creating models of stabilization of other compounds.

Keywords: IDEFO , β -carotene, lycopene, lutein, astaxanthin, microcapsules, stabilization

References

- Akhterov A.V., Lezina O.V., Fedorov I.V. Sistemnaya model' informatsionno-obrazovatel'noi sredy vypuskayushchei kafedry vuza [The system model of the information and educational environment of the graduating department of the university]. *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo instituta (Gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta)* [Bulletin of the Moscow Automobile and Road Construction Institute (State Technical University)], 2010, no. 12, pp. 12a-17.
- Azanov V.G. Strukturno-funktsional'naya model' upravleniya potokami patsientov regional'noi konsul'tativnoi polikliniki [Structural and functional model of patient flow control in a regional consultation clinic]. *Sistemy i sredstva informatiki* [Systems and Means of Informatics], 2016, vol. 26, no. 1, pp. 13–29. <https://doi.org/10.14357/08696527160102>
- Barklaevskaya N.V., Lakhmanova I.E. Dva vzglyada na analiz predmetnoi oblasti [Two views on domain analysis]. *Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya v sovremennom mire* [Fundamental and applied research in the modern world], 2015, no. 12–1, pp. 83–88.
- Doronina I.N. Metodologiya S.D. v bibliotechnom dele. *Bibliosfera*, 2013, no. 4, pp. 71–76.
- Doronina I.N. Modelirovanie uchebnykh klasterov s ispol'zovaniem metoda strukturnogo analiza i proektirovaniya (SADT) [Modeling of educational clusters with the use of the structured analysis and design technique (SADT)]. *Integratsiya obrazovaniya* [Integration of Education], 2014, no. 1, pp. 102–108. <https://doi.org/10.15507/Inted.74.018.201401.102>
- Ershova O.Y., Leonov A.G., Tkachenko A.E., Dolgopolova G.V. Kompleksnyi podkhod k reabilitatsii detei s vrozhdennoi rasshchelinoi verkhnei guby i neba v usloviyakh spetsializirovannogo tsentra [An integrated approach to the rehabilitation of children with congenital cleft lip and palate in conditions of a specialized center]. *Sistema integratsii v zdravookhraneni* [The system of integration in health care], 2014, no. 1(23), pp. 26–35.
- Filina I.A., Razdorskaya I.M. Modelirovanie biznes-protssesov v aptechnoi praktike [Modeling of business processes in pharmacy practice]. *Nauchnye vedomosti BelGU* [Scientific statements of BelSU Series Medicine. Pharmacy], 2015, vol. 29, no. 4(201), pp. 136–140.
- Golod A.S., Krivovyaz E.V., Krivovyaz S.A., Semenenko S.I., Tomashevskaya Yu.A., Koval'skaya L.V. Funktsional'noe modelirovanie v postroenii tekhnologicheskikh skhem dlya myagkikh lekarstvennykh form [Functional modeling in the construction of technological schemes for soft medicinal forms]. *Farmatsiya* [Pharmacy], 2013, no. 5, pp. 35–37.
- Kiselev A.R., Shvarts V.A., Vodolazov A.M., Posnenkova O.M., Gridnev V.I. Organizatsionno-tekhnologicheskaya model' okazaniya meditsinskoj pomoshchi bol'nym s khronicheskoi serdechnoi nedostatochnost'yu [Organization and technological model of medical care delivered to patients with chronic heart failure]. *Kardio-IT* [Cardio-IT], 2014, no. 3. <https://doi.org/10.15275/cardioit.2014.0304>
- Komarov V.F., Korsun' K.P. Problemy i metody vnedreniya upravlencheskikh innovatsii [Problems and methods of implementing managerial innovations]. *Region: ekonomika i sotsiologiya* [Region: economics and sociology], 2011, no. 1, pp. 248–267.
- Kovyazina N.A., Nikolaeva A.M., Funkner E.V., Efimova M.G. Izuchenie vozmozhnosti mikro-kapsulirovaniya bakteriofaga [Studying the possibility of microencapsulation of a bacteriophage]. *Nauchnye vedomosti BelGU Seriya Meditsina. Farmatsiya* [Scientific reports of BelSU Series Medicine. Pharmacy], 2014, no. 24(195), pp. 205–210.
- Krolevets A.A., Tyrsin Yu.A., Bykovskaya E.E. Primenenie nano- i mikro-kapsulirovaniya v farmatsevtike i pishchevoi promyshlennosti. Chast' I. Osnovy mikro-kapsulirovaniya [The use of nano- and microencapsulation in pharmaceuticals and the food industry. Fundamentals of microencapsulation]. *Vestnik Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk* [Bulletin of the Russian Academy of Natural Sciences], 2012, no. 4, pp. 123–127.
- Kuregyan A.G., Pechinskii S.V. Poluchenie karotinoidov i ikh identifikatsiya metodami spektroskopii v IK- i UF- oblastiakh [Obtaining carotenoids and their identification by spectroscopy methods in the IR and UV regions]. *Voprosy biologicheskoi, meditsinskoj i farmatsevticheskoi khimii* [Questions of biological, medical and pharmaceutical chemistry], 2016, no. 1, pp. 22–27.
- Kuregyan A.G., Stepanova E.F., Pechinskii S.V., Oganesyan E.T. Metodologiya izucheniya karotinoidov i sozdaniya lekarstvennykh sredstv na ikh osnove v notatsii IDEFO [Methodology of studying carotenoids and development of medicines on their basis in IDEFO notation]. *Astrakhanskii meditsinskii zhurnal* [Astrakhan State Medical University], 2018, no. 2(13), pp. 80–89. <https://doi.org/10.17021/2018.13.2.80.89>
- Lantsberg A.V., Troich K., Buldakova T.I. Osobennosti otsenki kachestva meditsinskoj elektronnoi uslugi [Features of the quality assessment of medical electronic services]. *Informatsionnoe obshchestvo* [Information Society], 2011, no. 4, pp. 28–37.

- Litvishko V.S., Litvishko O.V. Mikroapsulirovannyye pestitsidy na osnove studneobraznykh system [Microencapsulated pesticides based on gelatinous systems]. *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk* [Actual problems of the humanities and natural sciences], 2016, no. 6(1), pp. 50–53.
- Popov A.M., Krivoshepko O.N., Artyukov O.N. Perspektivy klinicheskogo primeneniya astaksantina i drugikh oksigenirovannykh karotinoidov [Prospects for the clinical use of astaxanthin and other oxygenated carotenoids]. *Biofarmatsevticheskii zhurnal* [Biopharmaceuticals. Journal], 2013, vol. 5(5), pp. 13–30.
- Potakhin S.N., Shapkin Yu.G. Razrabotka organizatsionno-tehnologicheskoi modeli okazaniya pomoshchi bol'nym yazvennymi gastroduodenal'nymi krvotekheniyami [Development of an organizational and technological model for assisting patients with gastroduodenal ulcer bleeding]. *Byulleten' meditsinskikh Internet-konferentsii* [Bulletin of medical Internet conferences], 2017, vol. 7, no. 2, pp. 590–600.
- Semkanova V.A. Kachestvo meditsinskikh uslug i agentnoe modelirovanie [The quality of medical services and agent modeling]. In *Nauchnye dostizheniya i otkrytiya sovremennoi molodezhi: Sbornik statei pobeditelei mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Scientific achievements and discoveries of modern youth: Proceedings of articles by winners of the international scientific-practical conference]. Penza: Nauka i Prosveshchenie (IP Gulyaev G.Y.), 2017, pp. 139–143.
- Solodovnik V.D. Mikroapsulirovanie [Microencapsulation]. Moscow: Khimiya, 1980. 216 p.
- Taranik M.A., Kopanitsa G.D. Analiz protsessa kontrolya kachestva okazaniya meditsinskoj pomoshchi v ramkakh programmy obyazatel'nogo meditsinskogo strakhovaniya [Analysis of the quality control process of medical care in the framework of the compulsory health insurance program]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta* [Tomsk State University Bulletin], 2015, no. 3(32), pp. 75–84. <https://doi.org/10.20538/1682-0363-2015-3-40-48>
- Zavodchikov N.D., Zemlyankina A.S. Razrabotka proizvodstvennoi strategii khlebopekarnogo predpriyatiya s primeneniem S.D.-tehnologii [Development of a production strategy for a bakery using S.D. technology]. *Izvestiya Samarskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii* [Bulletin of the Samara State Agricultural Academy], 2015, no. 2, pp. 10–14.
- Britton G., Liaaen-Jensen S., Pfander H. Carotenoids Handbook. Basel AG: Springer, 2004. 646 p.
- Britton G., Liaaen-Jensen S., Pfander H. Carotenoids. Vol. 5: Nutrition and Health. Basel, Boston, Berlin: Birkhäuser Verlag, 2009. 464 p.
- Gateau H., Solymosi K., Marchand J., Schoefs B. Carotenoids of Microalgae Used in Food Industry and Medicine. *Mini-Reviews in Medicinal Chemistry*, 2017, vol. 17, issue 13, pp. 1140–1172. <https://doi.org/10.2174/1389557516666160808123841>
- Krinsky N.I., Mayne S.T., Sies H. Carotenoids in Health and Disease. New York: Dekker, 2004. 576 p.
- Tanaka T., Shnimizu M., Moriwaki H. Cancer Chemoprevention by Carotenoids. *Molecules*, 2012, vol. 17, issue 3, pp. 3202–3242. <https://doi.org/10.3390/molecules17033202>

Ферментированный продукт на растительной основе

Донская Галина Андреевна

ФГАНУ «ВНИМИ»

Адрес: 115093, Москва, ул. Люсиновская, д. 35, корп. 7

E-mail: g_donskaya@vnimi.org

Дрожжин Виктор Михайлович

ФГАНУ «ВНИМИ»

Адрес: 115093, Москва, ул. Люсиновская, д. 35, корп. 7

E-mail: v_drozzhin@vnimi.org

Блинова Татьяна Евгеньевна

ФГАНУ «ВНИМИ»

Адрес: 115093, Москва, ул. Люсиновская, д. 35, корп. 7

E-mail: t_blinova@vnimi.org

Семипятный Владислав Константинович

ВНИИПБиВП – филиал Ф.Б.У «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

Адрес: 119021, Москва, Россолимо, д. 7

E-mail: semipyatniy@gmail.com

Проведен сравнительный анализ процессов сквашивания соевого напитка и коровьего молока ацидофильной молочнокислой палочкой штамма ВНИМИ *Lact. acidophilum* АК – 97. Показано, что процесс кислотообразования в коровьем молоке проходит значительно быстрее в сравнении с соевым напитком. Продолжительность сквашивания коровьего молока составляет 3 часа, соевого напитка – 24 часа. Активность клеток ацидофильной молочнокислой палочки в соевом напитке ниже, чем в коровьем молоке. Можно предположить, что деление клеток в соевом напитке не подчиняется закону геометрической прогрессии. Выживаемость клеток в обоих сквашенных продуктах снижается во времени. На 26-е сутки хранения количество клеток составляло $0,66 \times 10^7$ – в соевом напитке и $1,5 \times 10^8$ в коровьем молоке. Форма и расположение клеток ацидофильной молочнокислой палочки, показанные при микроскопировании, идентичны в обоих видах продуктов. Исключение составляло поле соевого напитка в первые сутки после сквашивания. В нём отмечали крупные тёмные шарообразные включения, которые исчезали на 21-е сутки. Изучено влияние ацидофильной палочки на характер изменения антиоксидантной активности соевого напитка. Суммарное содержание водорастворимых антиоксидантов в соевом продукте превосходит сквашенное коровье молоко и соответствует значению $7,8 \pm 0,6$ мг/100 г. Изучены органолептические показатели сквашенного соевого продукта в период хранения. На 20-е сутки ступок приобретает рыхлую консистенцию, продукт имеет нетоварный вид и неудовлетворительный вкус с выраженным растительным запахом

Ключевые слова: соевый напиток, коровье молоко, сквашивание, ацидофильная молочнокислая палочка, кислотообразование, выживаемость клеток

Введение

В последние годы на отечественном рынке пищевых продуктов появились аналоги молока на основе растительного сырья. При этом различные виды растительного молока некоторые производители позиционируют как альтернативу коровьему (Paul, Kumar, Kumar, Sharma, 2019, p. 1–19; Tangyu, Muller, Bolten, Wittmann, 2019, p. 23–24; Verduci, D.E.ios, Cerrato, Comberiat, Calvani, Palazzo,

Martelli, Landi, Trikamjee, Peroni, 2019, p. 11; Vanga, Raghavan, 2018, p.10–20; Sethi, Tyagi, Anurag, 2016, p. 3408–3423).

Вместе с тем известно, что женское и коровье молоко являются единственными пищевыми продуктами, которые обеспечивают молодой организм всеми необходимыми питательными веществами и прежде всего белками, обладающими защитными свойствами. Белки молока превосходят белки рас-

тений в силу лучшей сбалансированности по аминокислотному составу. Биологическая ценность белков молока составляет 85%, тогда как этот показатель для растительных белков значительно ниже.

Важным компонентом молока является лактоза, содержащаяся в молоке всех млекопитающих. Поскольку лактоза содержит галактозу, играющую важную роль в химизме центральной нервной системы (галактозиды и цереброзиды составляют часть нервной и мозговой ткани), это соединение, по-видимому, является строительным материалом для мозга, специальным питательным веществом для роста и развития центральной нервной системы потомства млекопитающих (Campbell, 1972, p.18). В отличие от сахарозы и других простых сахаров лактоза относительно плохо растворима. Медленно расщепляясь в толстом отделе кишечника, она стимулирует рост специфических микроорганизмов, особенно *Lactobacillus acidophilus*, которые синтезируют органические кислоты, витамины группы В, антибиотики. Последние препятствуют развитию опасных бактерий в организме. Известно, что лактоза усиливает всасывание Са, Р, Mg и Ва из кишечника. Благодаря этому молоко является превосходным антирахитическим продуктом (Кэмпбелл, Маршалл, 1980, с.13–14). Молоко отличается высоким содержанием минеральных веществ, является превосходным источником кальция, имеет оптимальные соотношения Са:Р = 1,4:1, что важно для костной ткани организма. Молоко содержит витамины и гормоны. Последние выполняют определенные биохимические и физиологические функции в результате согласованных действий нервной, эндокринной и сосудистой систем организма (Шидловская, 2015, с.62).

Вместе с тем отдельная категория населения не переносит лактозу, являющуюся основным углеводным источником молока. Невосприимчивость молока объясняется отсутствием или недостатком фермента лактазы в желудке.

В то же время увеличивается количество веганов, ратующих за отказ от продукции животного происхождения. На частоту возникновения непереносимости лактозы влияет и этническое происхождение. У этнических представителей северных европейских стран, Северной Америки и Австралии наблюдается самый низкий уровень непе-

реносимости: от 5% - у населения Британии, до 17% - в Финляндии и северных регионах Франции. В Ю.ой Америке, Азии, Африке более 50% населения не переносят лактозу (Vanga, Raghavan, 2018, p. 10–20).

Изучением состава молока, его органолептической оценки занимаются ряд российских ученых (Радаева, Шепелева, Шидловская, 2003, с.10–11; Юрова, Полякова, Мельденберг, 2017, с.26–28). Изучены белки и их отдельные фракции, обладающие антиоксидантными и иммуномодулирующими свойствами (Донская, Захарова, 2010, с.72–73; Агаркова, Кручинин, 2018, с.412–417).

Преимущества коровьего молока перед растительными альтернативами очевидны. Известно, что потребление детьми парного (термически необработанного молока) значительно снижает риск воспалительных и респираторных заболеваний. Однако до 4% детей грудного возраста испытывают аллергию на коровье молоко, которая чаще исчезает к 5–6-летнему возрасту.

Хотя разработаны технологии получения безлактозного молока, рынок альтернативных продуктов на растительной основе приобретает все большую популярность. К немолочным альтернативам молока относят соевое, миндальное, рисовое, овсяное, кокосовое и др. (Егорова, 2018, с.25–34).

Особое внимание уделяется соевому молоку, как источнику полноценного белка, моно- и полиненасыщенных жирных кислот, положительно влияющих на сердечно-сосудистую систему (Jeske, Zannini, Arendt, 2017, p.26–33). Функциональными компонентами сои считают изофлавоны, фитостеролы (Sethi, Tyagi, Anurag, 2016, p.3408–3423). Несмотря на то, что соевое молоко появилось много лет назад, и его рекомендуют как здоровый и полезный напиток, результаты апробации его на людях носят слишком противоречивый характер (MacArthur¹; Kaayaia, 2005; Рябцева, Ахмедова, Анисимова, 2018).

Так по мнению М. Гаврилова² – члена института функциональной медицины США фитостеролы, содержащиеся в соевом молоке, с одной стороны, способствуют снижению «плохого» холестерина, с другой – они могут быть совсем не полезны в рационе людей с нарушением метаболизма эстрогенов.

¹ MacArthur J.D. The Trouble With Tofu - Soy and the Brain [Электронный ресурс]. U.L. <https://renew.com/general3/soy.htm> (дата обращения: 13.08.2020).

² Растительное молоко: так ли оно полезно? [Электронный ресурс]. U.L. <https://rskrf.ru/tips/eksperty-obyasnyayut/rastitelnoe-moloko-tak-li-ono-polezno> (дата обращения: 14.08.2020).

Любые соевые продукты в этом случае могут увеличить риск развития эстрогенозависимых опухолей. Кроме того, по результатам многочисленных исследований соя признана одним из самых сильных аллергенов. В.С.А соевые продукты полностью исключены из диетического питания (Гаврилов, 2018).

По мнению других авторов (John, 2000) изофлавоны сои особенно опасны при регулярном и длительном приёме. Негативными компонентами сои являются ингибиторы трипсина, высокое содержание фитиновой кислоты и использование генно-модифицированного сырья. Для удаления ингибиторов соевое молоко подвергают режимам стерилизации.

Теоретическое обоснование

Исследования соевого молока, проведенные в Амурской государственной медицинской академии Аксеновой Т. В. (Аксенова, 2006, с.149) на больных с ишемической болезнью сердца и со стенокардией не выявили достоверных изменений в содержании холестерина. Исходя из схожести жирнокислотного состава липидов соевого молока и плазмы крови, было рекомендовано потребление соевого молока, как источника полиненасыщенных жирных кислот, больным с ишемической болезнью сердца.

Наличие антипитательных веществ в семенах сои ограничивает ее применение и требует разработки специальных режимов для удаления нежелательных ингредиентов (Зобкова, Фурсова, 1998, с.15–16). Так ингибиторы сои образуют устойчивые комплексы с протеолитическими ферментами, что может привести к гипертрофии поджелудочной железы. Содержащиеся в сое лектины (гликопротеины) взаимодействуют с углеводными рецепторами на поверхности клеток кишечника, что препятствует всасыванию полезных веществ.

Процесс ферментации удаляет из сои большинство вредных веществ (Tangyu, Muller, Bolten, Wittmann, 2019, P.23–24). Однако предварительная стерилизация при 150°C снижает содержание ингибитора трипсина лишь на 78%. При этом претерпевают изменения белки и другие компоненты соевого молока (Аксёнова, 2006, с.149).

Ранее во ВНИМИ были разработаны ряд продуктов на основе сои, в том числе напитки кисло-молочного типа: кефирный и «Бифидоник» (Асафов, Фоломеева, Танькова, Исакова, 2004, с.2–20)

Что касается альтернативных видов продуктов на основе растительных бобов, то органолептическая восприимчивость является основным ограничивающим фактором для их широкой популярности. Появляются постоянные жалобы потребителей на бобовый привкус сои в соевом молоке. Кроме того, наличие антипитательных факторов в соевых бобах и различных соевых продуктах вызывает определённую озабоченность.

В настоящее время для решения проблем, связанных с увеличением срока хранения, эмульсионной стойкостью и органолептической восприимчивостью готового продукта, исследуются новые современные технологии производства без тепловой обработки, например обработка импульсным электрическим полем.

Однако, для понимания питательной ценности соевых продуктов в краткосрочной и долгосрочной перспективе проведено недостаточное количество исследований.

Цель данного исследования – провести сравнительный анализ процесса ферментации соевого напитка и коровьего молока молочнокислыми микроорганизмами с контролем их активности при хранении продуктов.

Задачи исследования:

1. Определение динамики кислотообразования в соевом напитке при сквашивании ацидофильной молочнокислой палочкой в сравнении с коровьим молоком.
2. Установление изменения окислительно-восстановительных свойств соевого напитка и коровьего молока в процессе сквашивания.
3. Выявление влияния растительной основы на выживаемость ацидофильной палочки в процессе хранения.

Материалы и методы исследования

Объекты исследования

Объектами исследований являлись: соевый напиток, вырабатываемый в промышленных условиях путём экстракции водой размолотой сои с массовой долей белка 2,25%, массовой долей жира 1,3%, массовой долей углеводов 1,33%; молоко коровье сборное с массовой долей жира 3,6–4,1%, массовой долей белка – 3,0%, массовой долей углеводов – 4,7%.

Методы и процедура исследования

Оба вида продуктов стерилизовали при температуре 121°C с выдержкой 10 мин., (1атм.). Для сквашивания использовали штамм из коллекции ВНИМИ *Bact.acidophilum* АК-97 слизистых расс. Количество вносимой закваски соответствовало 5%. Сквашивание проводили при температуре (37±2)°С до образования сгустка.

В процессе сквашивания исследовали динамику кислотообразования. Начиная с исходного продукта и через каждый час после внесения закваски в образцах обоих продуктов определяли активную (рН) и титруемую кислотность, окислительно-восстановительный потенциал ОВП (Eh), суммарное содержание водорастворимых антиоксидантов (АОА).

Активную кислотность и окислительно-восстановительный потенциал определяли с помощью рН-метра иономера «Эксперт-001»; титруемую кислотность методом титрования. Содержание водорастворимых антиоксидантов определяли амперометрическим методом на приборе «ЦВЕТ-ЯУЗА-01-АА».

После сквашивания образцы молока расфасовывали в стерильные ёмкости по 50 г с соблюдением правил асептики и закладывали на холодильное хранение при температуре (4±2)°С. Исследования проводили на протяжении 30 суток с периодичностью 5 суток.

Оценивали возможность сквашивания соевого напитка бактериями ацидофильной палочки;

временной интервал, при котором количество клеток остается на уровне, отвечающем биологическим требованиям (10^7). Жизнеспособность ацидофильной палочки и их наиболее вероятное число (НВЧ) определяли методом предельных разведений с применением таблицы Мак-Крэди. Эксперименты проводили в 3-х повторностях. Полученные данные подвергали математической обработке.

Результаты и их обсуждение

Динамика изменения кислотности после внесения ацидофильной молочнокислой палочки в соевый напиток и коровье молоко показана на Рисунке 1.

Из данных Рисунка 1 следует, что развитие молочнокислой микрофлоры в коровьем молоке проходило значительно быстрее относительно соевого напитка. Так через 2 часа ферментации титруемая кислотность коровьего молока приближалась к 60°Т, тогда как в соевом напитке этот показатель составлял не более 30°Т. Только через 24 ч ферментации титруемая кислотность соевого продукта достигла 59,6°Т. Достоверность полученных данных составляла более 95–99%.

Очевидно, что лактоза – единственный углевод молока, является основной питательной средой для ацидофильной молочнокислой палочки. Олигосахариды соевого напитка в меньшей степени способствуют росту молочнокислой микрофлоры.

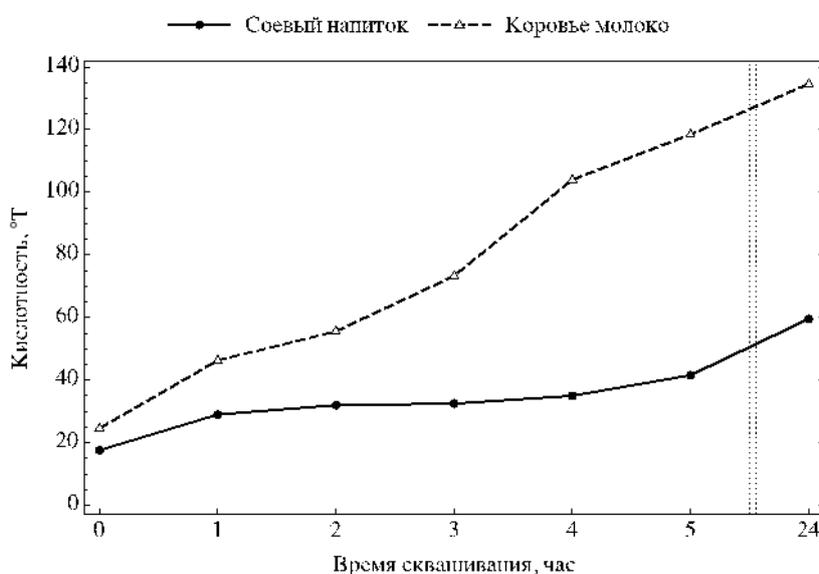


Рисунок 1. Динамика изменения титруемой кислотности продуктов в процессе сквашивания.

Значения активной кислотности, характеризующие концентрацию водородных ионов в продукте, уменьшались пропорционально времени сквашивания. Динамика изменения активной кислотности соевого напитка и коровьего молока в процессе сквашивания показана на Рисунке 2. При этом более выраженная тенденция снижения активной кислотности отмечена в коровьем молоке.

Результаты исследований с высокой степенью достоверности показали динамику снижения рН соевого напитка с 6,56 до 4,77 при достижении титруемой кислотности 56,9°Т. Следует отметить, что слабое образование сгустка наблюдали через 5 ч после начала сквашивания, где титруемая кислотность соответствовала 41,6°Т. Для ускорения образования сгустка в зарубежных исследованиях, например, добавляли в соевое молоко глюкозу, фруктозу, галактозу, лактозу или их смесь. В коровьем молоке через 3 ч сквашивания значение активной кислотности соответствовало 4,68 ед. рН, а титруемая кислотность составляла 73°Т. Полученные данные наглядно показывают, что процесс кислотообразования в соевом напитке проходит значительно медленнее относительно коровьего молока, что согласуется с результатами зарубежных авторов (Vanga, Raghavan, 2018, р.10–20). Очевидно, недостаточное количество моносахаридов в соевом молоке замедляет процесс сквашивания.

Динамика роста окислительно-восстановительного потенциала при сквашивании коровьего молока и соевого напитка показана на Рисунке 3.

Окислительно-восстановительный потенциал обоих видов продуктов, характеризующий окислительно-восстановительные процессы, оказывающий влияние на органолептические свойства кисломолочных напитков, увеличивался пропорционально времени сквашивания.

При этом значение ОВП соевого продукта и коровьего молока через 3 ч и 1 ч ферментации, соответственно, приближались к значению ОВП нативного коровьего молока (200–300 mV). Известно, что термическая обработка молока сопровождается улетучиванием кислорода, разрушением аскорбиновой кислоты и резким понижением ОВП, что наблюдали после стерилизации продуктов. В связи с этим исходные показатели ОВП имели минимальные значения. В процессе сквашивания охлаждённых продуктов происходит нарастание кислотности, т.е. повышение концентрации водородных ионов. Последнее приводит к увеличению ОВП.

Согласно аналитическим данным (Vanga, Raghavan, 2018, р. 10–20), в составе соевого напитка имеется большое количество углеводов, витаминов, микро- и макроэлементов, полиненасыщенных жирных кислот, обладающих антиоксидантной активностью. Изучение влияния ацидофильной палочки, являющейся продуцентом антибиотиков, на характер изменения антиоксидантной активности соевого напитка представляло определенный научный интерес. Результаты проведенных исследований показали, что суммарное содержание водорастворимых антиоксидантов (АОА) в соевом напитке достаточно высокое и соответствовало значению $(7,8 \pm 0,6)$ мг/100 г.

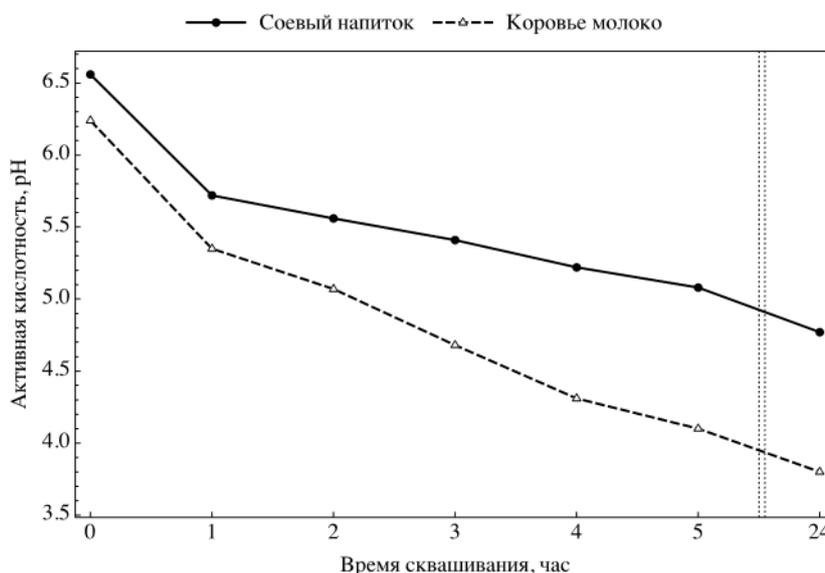


Рисунок 2. Динамика изменения рН продуктов в процессе сквашивания.

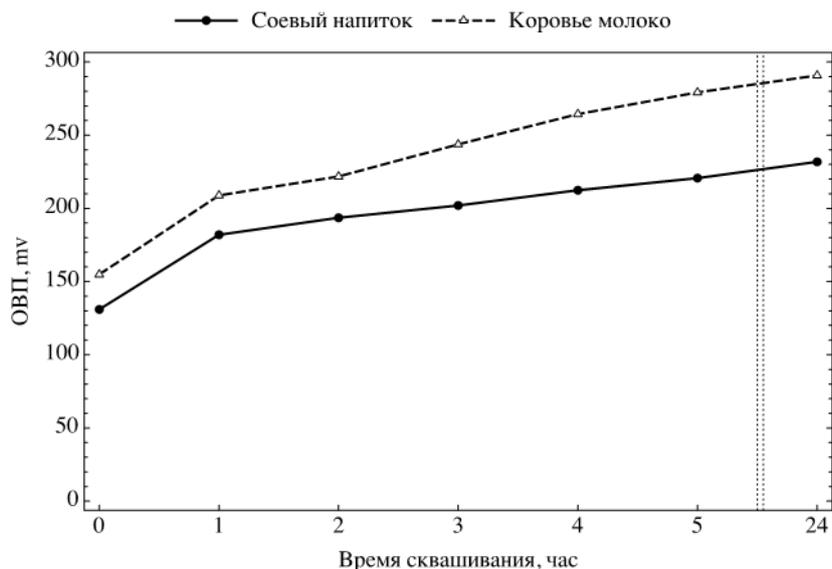


Рисунок 3. Динамика роста ОВП при сквашивании молока и соевого напитка.

Тенденция увеличения АОА отмечена и в сквашенном коровьем молоке, исходная активность которого была менее АОА сквашенного соевого напитка ($5,16 \pm 1,22$) мг/100 г. Однако достоверность значений показателей АОА исходного коровьего молока и через 1 и 3 часа сквашивания была менее 95%. Возможно, это связано с неоднородностью поступающих партий сборного молока. На Рисунке 4 показано изменение содержания водорастворимых антиоксидантов в коровьем молоке и соевом напитке в процессе сквашивания. Из Рисунка 4 наглядно видно, что суммарное содержание водорастворимых антиоксидантов в обоих напитках возрастает пропорционально времени сквашивания.

Очевидно, в процессе ферментации под влиянием молочной кислоты происходит гидролиз белков с образованием свободных аминокислот или пептидов, обладающих антиоксидантными свойствами. Выраженный характер увеличения АОА в процессе сквашивания отмечен в коровьем молоке с максимально высокой титруемой кислотностью. Процесс роста АОА при сквашивании соевого напитка носил более плавный характер, что может быть обусловлено замедленным кислотообразованием.

Изучена выживаемость ацидофильных молочнокислых палочек, являющихся представителями

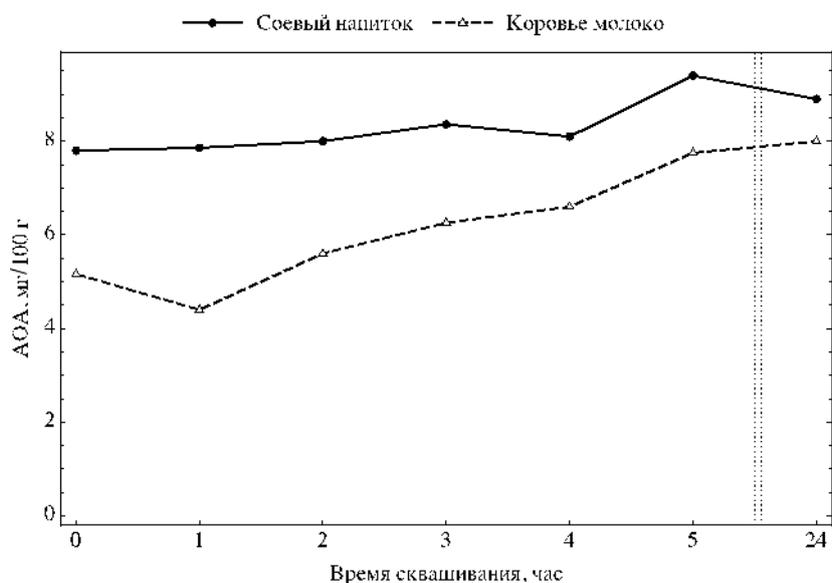


Рисунок 4. Изменения АОА продуктов в процессе сквашивания.

нормальной кишечной микрофлоры, в сквашенных соевом напитке и коровьем молоке в период хранения при температуре $(4 \pm 2)^\circ\text{C}$.

Установлено, что количество клеток ацидофильной молочнокислой палочки в соевом напитке, начиная с момента хранения и по 11 сутки включительно, снижалось с $5 \cdot 10^7$ до $1,3 \cdot 10^7$. На 16 сутки хранения количество клеток возрастало примерно в 7 раз, а на 26 сутки сокращалось в 7,6 раза относительно первых суток. Аналогичные зависимости между количеством выживших клеток и временем хранения получены в коровьем молоке.

За время хранения напитка количество клеток молочнокислой микрофлоры снизилось с $8,4 \cdot 10^8$ до $1,5 \cdot 10^8$, т.е. в 5,6 раза относительно первых суток. Полученные результаты показывают, что снижение количества выживших клеток ацидофильной палочки в соевом напитке проходит более интенсивно в сравнении с коровьим молоком. Однако, несмотря на это, количество клеток в сквашенном соевом напитке на протяжении 26 суток хранения оставалось на требуемом биологическом уровне.

На Рисунках 5–6 представлены экспериментальные и теоретически обработанные данные по динамике изменения выживших клеток ацидофильной м/к палочки в сквашенном соевом напитке и коровьем молоке, соответственно, в период хранения. Установлено, что по мере увеличения продолжительности хранения количество выживших клеток в обоих видах продуктов уменьшается.

Линейным приближением изменения клеток являются функции:

$$f_1 = 5.06 \times 10^7 - 0,064 \times 10^7 t \text{ и } f_2 = 59.71 \times 10^7 - 1,571 \times 10^7 t$$

В процессе экспериментальных исследований проводили микроскопирование образцов сквашенного соевого напитка и коровьего молока.

На Рисунке 7 продемонстрированы результирующие поля коровьего молока и соевого напитка.

Показано, что форма и расположение клеток ацидофильной палочки идентичны в соевом напитке и коровьем молоке. Однако в сравнении с коровьим молоком, на поле соевого напитка в первые сутки после сквашивания отмечали крупные темные шарообразные включения, которые практически исчезали на 21 сутки.

Исследованы органолептические показатели сквашенного соевого напитка в процессе хранения. Отмечено, что консистенция продукта до 20 суток хранения была однородной, мягкой, слегка слизистой. По истечении 20 суток сгусток при перемешивании приобретал рыхлую консистенцию с наличием образующихся комочков. Соевый продукт имел слабо кремовую окраску, растительный запах, неудовлетворительный вкус. Оценка органолептических показателей соевого продукта коррелирует с результатами зарубежных авторов (Kolapo, Oladimeji, 2008, p.40–45; Jiang, Cai, Xu, 2013, p.198–212; Udeozor, 2012, p.18–26).

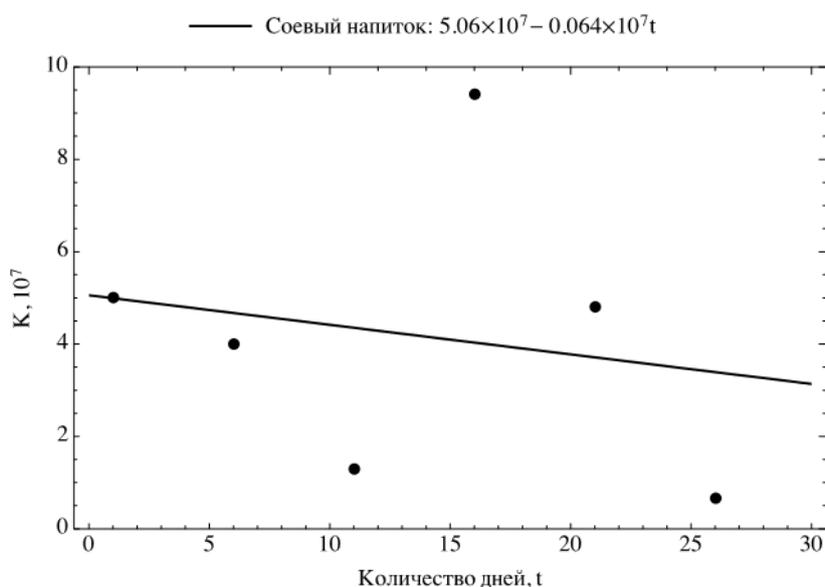


Рисунок 5. Изменения клеток ацидофильной м/к палочки при хранении соевого сквашенного напитка.

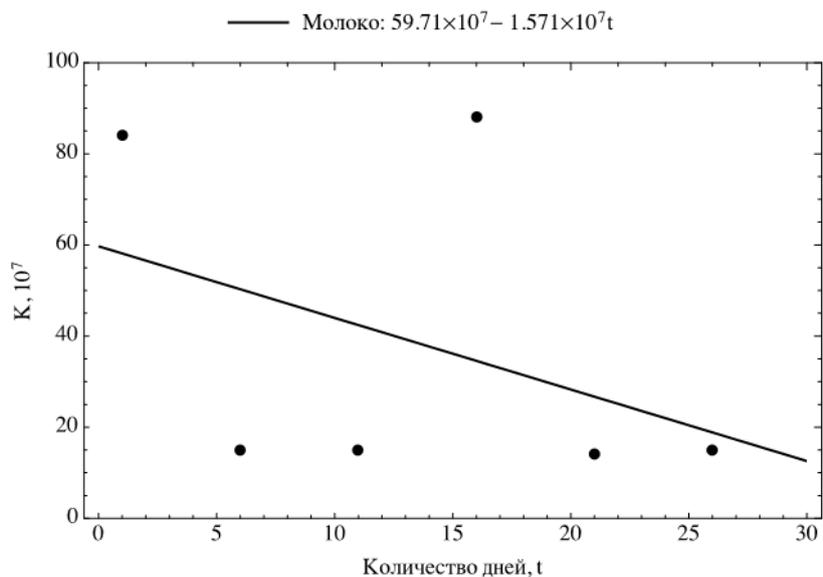


Рисунок 6. Изменения клеток ацидофильной м/к палочки при хранении сквашенного молочного продукта.

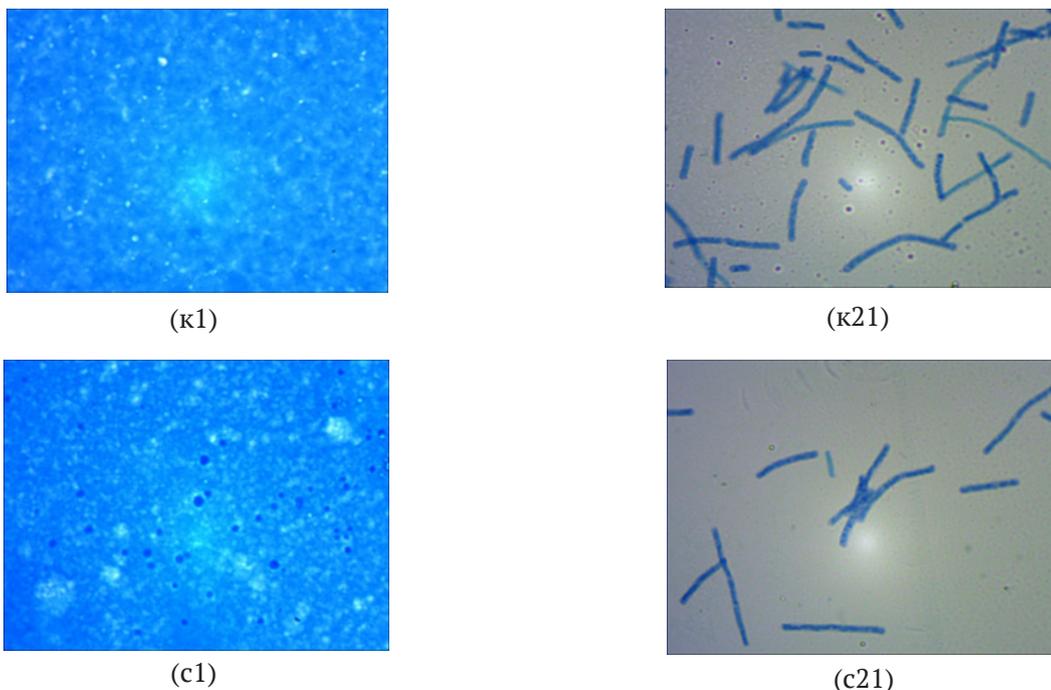


Рисунок 7. Поле коровьего и соевого молока (к1, с1) на первые сутки; (к21, с21) на 21-е сутки после сквашивания, соответственно.

Выводы

На основании проведенных исследований установлено, что:

1. Активность клеток ацидофильной молочнокислой палочки в стерилизованном соевом напитке значительно ниже, чем в стерилизованном коровьем молоке. Очевидно, что деление кле-

ток в соевом напитке не подчиняется закону геометрической прогрессии, т.к. скорость нарастания кислотности в процессе сквашивания существенно отставала от кислотности стерилизованного коровьего молока.

2. Продолжительность сквашивания соевого напитка, без внесения дополнительных ингредиентов, занимает около 24 часов (коровьего молока – 3 часа), что подтверждается результатами исследований титруемой и активной кислотности;

3. Величина окислительно-восстановительного потенциала, оказывающего влияние на интенсивность протекания биохимических процессов и накопление вкусовых и ароматических веществ при производстве кисломолочного соевого продукта, не превышает 230 мВ и обусловлена концентрацией водородных ионов. Полученные значения ОВП позволяют классифицировать сквашенный соевый продукт как среду со слабо восстановительными свойствами.
 4. Антиоксидантная активность ферментированного соевого продукта превосходит показатели АОА сквашенного коровьего молока. Основанием тому служит повышенное содержание водорастворимых витаминов, ферментов, свободных аминокислот, а также способность к/м ацидофильной палочки продуцировать в данной среде вещества, обладающие антиоксидантной активностью. Для определения водорастворимых антиоксидантов в сквашенном соевом продукте важно исследовать углеводный состав соевого молока, изменения этого состава после стерилизации и сквашивания, что будет являться предметом дальнейших исследований.
 5. Выживаемость клеток ацидофильной молочной палочки в обоих видах сквашенного продукта снижается во времени. За исследуемый период хранения (26 суток) количество клеток в соевом продукте оставалось на уровне, отвечающем биологическим требованиям ($0,66 \cdot 10^7$). В то же время количество клеток в коровьем сквашенном молоке превышало на порядок показатели соевого продукта ($1,5 \cdot 10^8$); для обоснования увеличения клеток молочной-кислой ацидофильной палочки на 16 сутки хранения, также как и объяснение природы шарообразных включений на поле соевого напитка в первые сутки после сквашивания, требуется проведение дополнительных исследований. Для получения удовлетворительных результатов по органолептическим показателям необходима отработка рецептуры с внесением дополнительных ингредиентов.
- лока для коррекции окислительного стресса и гиперлипидемии: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.04. Благовещенск, 2006. 149 с.
- Асафов В.А., Фоломеева О.Г., Танькова Н.Л., Исакова Е.Л. Продукты на основе молочного и растительного сырья // Новые технологии переработки молока, производства масла и сыра: сборник материалов региональных конференций. Чебоксары, 2004. с. 88–92.
- Донская Г.А., Захарова Е.В. Антиоксидантные свойства молочной сыворотки // Молочная промышленность. 2010. № 9. С.72–73.
- Егорова Е.Ю. Немолочное молоко: обзор сырья и технологий // Ползуновский вестник. 2018. № 3. с. 25–34. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2018.03.005>
- Зобкова З.С., Фурсова Т.П. Продукты на основе соевых компонентов для профилактического и диетического питания // Молочная промышленность. 1998. № 5. с. 15–16.
- Кэмпбелл Дж.Р., Маршалл Р.Т. Производство молока. М.: Колос, 1980. С.13–14.
- Радаева И.А., Шепелева Е.В., Шидловская В.П. О методологии органолептической оценки молока и молочных продуктов // Переработка молока (технология, оборудование, продукция). 2003. № 6(44). с. 10–11.
- Рябцева С.А., Ахмедова В.Р., Анисимов Г.С. Мороженое как средство доставки *Lactobacillus acidophilus* // Техника и технология пищевых производств. 2018. Т. 48, № 2. с. 5–27. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-2-5-27>
- Шидловская В.П. О гормонах молока // Молочная промышленность. 2015. № 12. с. 62.
- Юрова Е.А., Полякова О.С., Мельденберг Д.Н. Установление требований и разработка критериев оценки молока-сырья, формирующих его сортность // Молочная промышленность. 2017. № 5. с. 26–28.
- Campbell J.R. In touch with Students – a Philosophy for Teachers. Columbia: Educational Affairs Publishers, 1972. 367 p.
- Jeske S., Zannini E., Arendt E.K. Evaluation of physicochemical and glycaemic properties of commercial plant-based milk substitutes // Plant Foods for Human Nutrition. 2017. Vol. 72, issue 1. P. 26–33. <https://doi.org/10.1007/s11130-016-0583-0>
- Jiang S., Cai W., Xu B. Food quality improvement of soy milk made from short-time germinated soybeans // Foods. 2013. Vol. 21, issue 2. P. 198–212. <https://doi.org/10.3390/foods2020198>
- Kaayia T. D. The whale soy story: the dark side of americas favorite health food. 1st ed. Newtrends Publishing, Inc, 2005. 457 p.
- Kolapo A.L., Oladimeji G.R. Production and quality evaluation of soy-corn milk // Journal of Applied

Литература

- Агаркова Е.Ю., Кручинин А.Г. Ферментативная конверсия как способ получения биологически активных пептидов // Вестник М.Т.. 2018. Т. 21, № 3. с. 412–417. <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2018-21-3-412-419>
- Аксёнова Т.В. Антиокислительные свойства соевых продуктов. Использование соевого мо-

- Biosciences. 2008. Vol. 1, issue 2. P. 40–45. U.L. <http://m.elewa.org/JABS/2008/2/2.pdf> (дата обращения: 10.08.2020).
- Paul A.A., Kumar S., Kumar V., Sharma R. Milk Analog: plant based alternatives to conventional milk, production, potential and health concerns // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2020. Vol. 60, issue 18. P. 3005–3023. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1674243>
- Sethi S., Tyagi S.K., Anurag R.K. Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: a review // *Journal of Food Science and Technology*. 2016. Vol. 53, issue 9. P. 3408–3423. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2328-3>
- Tangyu M., Muller J., Bolten C.J., Wittmann C. Fermentation of plant-based milk alternatives for improved flavour and nutritional value // *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2019. Vol. 103. P. 9263–9275. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-10175-9>
- Udeozor L.O. Tigernut-soy milk drink: preparation, proximate composition and sensory qualities // *International Journal of Food and Nutrition Science*. 2012. Vol. 1, issue 4. P. 18–26. U.L. <https://docplayer.net/36447089-Tigernut-soy-milk-drink-preparation-proximate-composition-and-sensory-qualities.html> (дата обращения: 10.08.2020).
- Vanga S.K., Raghavan V. How well do plant based alternatives fare nutritionally compared to cow's milk? // *Journal of Food Science and Technology*. 2018. Vol. 55, issue 1. P. 10–20. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2915-y>
- Verduci E., D.E.ios S., Cerrato L., Comberati P., Calvani M., Palazzo S., Martelli A., Landi M., Trikamjee T., Peroni D.G. Cow's milk substitutes for children: nutritional aspects of milk from different mammalian species, special formula and plant-based beverages // *Nutrients*. 2019. Vol. 11, issue 8. P.1–16. <https://doi.org/10.3390/nu11081739>

Fermented plant-based product

Galina A. Donskaya

All-Russian Dairy Research Institute
35/7, Ljusinovskaya Str., Moscow, 115093, Russian Federation
E-mail: g_donskaya@vnimi.org

Victor M. Drozhzhin

All-Russian Dairy Research Institute
35/7, Ljusinovskaya Str., Moscow, 115093, Russian Federation
E-mail: v_drozhzhin@vnimi.org

Tatyana E. Blinova

All-Russian Dairy Research Institute
35/7, Ljusinovskaya Str., Moscow, 115093, Russian Federation
E-mail: t_blinova@vnimi.org

Vladislav K. Semipyatniy

All-Russian Research Institute of Brewing, Non-Alcoholic and Wine Industry
7, Rossolimo st., Moscow, 119021, Russian Federation
E-mail: semipyatniy@gmail.com

Comparative analysis of bovine milk and soy drink fermentation process with *Bact.acidophilum*, AK-97, VNIMI strain, was conducted. It was demonstrated that acidification process was significantly faster in bovine milk rather than in soy drink. Fermentation duration was 3hrs in bovine milk vs 24hrs in soy. Cell *Bact.acidophilum* activity was higher in milk. It can be speculated that cell division in soy drink does not conform to progression law. Cell survival in both fermented products decline with time. After 26days of storage cell number was $0,66 \times 10^7$ in soy drink compared to $1,5 \times 10^8$ in milk. Microscopy demonstrated that cell shape and placement was identical in both products with the only exception of soy drink after 24hrs of fermentation when big dark round inclusions were identified which then disappeared 21 day later. Impact of *Bact.acidophilum* on antioxidant activity in soy drink was evaluated. Total amount of water-soluble antioxidants in soy products was higher than in fermented milk and reached $7,8 \pm 0,6 \text{ mg/100g}$. Throughout fermentation process, soy drink antioxidant activity increased up to $8,9 \pm 2,04 \text{ mg/100g}$. Organoleptic profile of fermented soy product in storage was studied. By day 20 clot became soft with expressed plant off-flavor and overall product appearance became unacceptable for the consumer.

Keywords: soy drink, bovine milk, fermentation, *Bact.acidophilum*, acidification, cell survival

References

- Agarkova E.Y., Kruchinin A.G. Fermentativnaya konverziya kak sposob polucheniya biologicheskii aktivnykh peptidov [Enzymatic conversion as a method of producing biologically active peptides]. *Vestnik M.T. [Bulletin of the Murmansk State Technical University]*, 2018, vol. 21, no. 3, pp. 412–417. <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2018-21-3-412-419>
- Aksyonova T.V. Antiokislitel'nye svoystva soevykh produktov. Ispol'zovanie soevogo moloka dlya korektsii okislitel'nogo stressa i giperlipidemii. Diss. kand. biol. nauk [Antioxidant properties of soy products. The use of soy milk to correct oxidative stress and hyperlipidemia. Ph.D. (Biology) thesis]. Blagoveshchensk, 2006. 149 p.
- Asafov V.A., Folomeeva O.G., Tan'kova N.L., Iskakov E.L. Produkty na osnove molochnogo i rastitel'nogo syr'ya [Products based on dairy and vegetable raw materials]. In *Novye tekhnologii pererabotki moloka, proizvodstva masla i syra [New technologies for milk processing, butter and cheese production: Proceedings of the conference]*. Cheboksary, 2004, pp. 88–92.
- Campbell J.R., Marshall R.T. Proizvodstvo moloka [Milk Production]. Moscow: Kolos, 1980, pp. 13–14.
- Donskaya G.A., Zaharova E.V. Antioksidantnye svoystva molochnoj syvorotki [Antioxidant properties of whey]. *Molochnaya promyshlennost' [Milk Industry]*, 2010, no. 9, pp. 72–73.
- Egorova E.Y.. Nemolochnoe moloko: obzor syr'ya i tekhnologij [Non-dairy milk: a review of raw materials

- and technologies] *Polzunovskij vestnik [Polzunovsky Bulletin]*, 2018, no. 3, pp. 25–34. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2018.03.005>
- Radaeva I.A., Shepeleva V.P., Shidlovskaya V.P. O metodologii organolepticheskoy ocenki moloka i molochnykh produktov [On the methodology of organoleptic evaluation of milk and dairy products]. *Pererabotka moloka (tekhnologiya, oborudovanie, produkcija) [Milk processing (technology, equipment, products)]*, 2003, vol. 6, no. 44, pp. 10–11.
- Ryabtseva S.A., Akhmedova V.R., Anisimov G.S. Morozhenoe kak sredstvo dostavki Lactobacillus acidophilus [Ice-cream as a means of delivery of Lactobacillus acidophilus]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv [Technics and technology of food production]*, 2018, vol. 48, no. 2, pp. 5–27. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-2-5-27>
- Shidlovskaya V.P. O gormonah moloka [About milk hormones]. *Molochnaya promyshlennost' [Milk Industry]*, 2015, no.12, pp. 62.
- Yurova E.A., Polyakova O.S., Mel'denberg D.N. Ustanovlenie trebovaniy i razrabotka kriteriev ocenki moloka-syr'ya, formiruyushchih ego sortnost' [Establishing requirements and developing criteria for evaluating raw milk, forming its grade]. *Molochnaya promyshlennost' [Milk Industry]*, 2017, no. 5, pp. 26–28.
- Zobkova Z.S., Fursova T.P. Produkty na osnove soevykh komponentov dlya profilakticheskogo i dieticheskogo pitaniya [Soy-based products for preventive and dietary nutrition]. *Molochnaya promyshlennost' [Milk Industry]*, 1998, no. 5, pp. 15–16.
- Campbell J.R. In touch with Students – a Philosophy for Teachers. Columbia: Educational Affairs Publishers, 1972. 367 p.
- Jeske S., Zannini E., Arendt E.K. Evaluation of Physicochemical and Glycaemic Properties of Commercial Plant-Based Milk Substitutes // *Plant Foods for Human Nutrition*, 2017, vol. 72, issue 1, pp. 26–33. <https://doi.org/10.1007/s11130-016-0583-0>
- Jiang S., Cai W., Xu B. Food Quality Improvement of Soy Milk Made from Short-Time Germinated Soybeans. *Foods*, 2013, vol. 21, no. 2, pp. 198–212. <https://doi.org/10.3390/foods2020198>
- Kaayia T. D. The whale Soy Story: The Dark Side of Americas Favorite Health Food. 1st ed. Newtrends Publishing, Inc, 2005. 457 p.
- Kolapo A.L., Oladimeji G.R. Production and Quality Evaluation of Soy-Corn Milk. *Journal of Applied Biosciences*, 2008, vol. 1, no. 2, pp. 40–45. U.L. <http://m.elewa.org/JABS/2008/2/2.pdf> (accessed 10.08.2020).
- Paul A.A., Kumar S., Kumar V., Sharma R. Milk Analog: Plant Based Alternatives to Conventional Milk, Production, Potential and Health Concerns. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2020, vol. 60, no. 18, pp. 3005–3023. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1674243>
- Sethi S., Tyagi S.K., Anurag R.K. Plant-Based Milk Alternatives an Emerging Segment of Functional Beverages: A.R.view. *Journal of Food Science and Technology*, 2019, vol. 53, no. 9, pp. 3408–3423. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2328-3>
- Tangyu M., Muller J., Bolten C.J., Wittmann C. Fermentation of Plant-Based Milk Alternatives for Improved Flavour and Nutritional Value. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2019, vol. 103, pp. 9263–9275. <https://doi.org/10.1007/s00253-019-10175-9>
- Udeozor L.O. Tigernut-Soy Milk Drink: Preparation, Proximate Composition and Sensory Qualities. *International Journal of Food and Nutrition Science*, 2012, vol. 1, no. 4, pp. 18–26. U.L. <https://docplayer.net/36447089-Tigernut-soy-milk-drink-preparation-proximate-composition-and-sensory-qualities.html> (accessed 10.08.2020).
- Vanga S.K., Raghavan V. How Well do Plant Based Alternatives Fare Nutritionally Compared to Cow's Milk? *Journal of Food Science and Technology*, 2018, vol. 55, no. 1, pp. 10–20. <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2915-y>
- Verduci E., D.E.ios S., Cerrato L., Comberiat P., Calvani M., Palazzo S., Martelli A., Landi M., Trikamjee T., Peroni D.G. Cow's Milk Substitutes for Children: Nutritional Aspects of Milk From Different Mammalian Species, Special Formula and Plant-Based Beverages. *Nutrients*, 2019, vol. 11, no. 8, pp. 1–16. <https://doi.org/10.3390/nu11081739>

Прогнозирование развития кагатной гнили сахарной свеклы в зависимости от параметров среды

Коробова Людмила Анатольевна

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет
инженерных технологий»

Адрес: 394036, Россия, город Воронеж, проспект Революции, д.19.
E-mail: ngkulneva@yandex.ru

Кульнева Надежда Григорьевна

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет
инженерных технологий»

Адрес: 394036, Россия, город Воронеж, проспект Революции, д.19.
E-mail: ngkulneva@yandex.ru

Процесс переработки сахарной свеклы является сезонным, при этом хранению подлежит до 60% собранного урожая, что увеличивает длительность производственного сезона до 200 суток. Задача данного исследования – прогнозирование развития микрофлоры в зависимости от физических факторов при хранении сырья. Изменения физиологического и физического состояния свеклы при хранении приводят к потерям в результате жизнедеятельности микроорганизмов, развивающихся на тканях корня. Источниками порчи являются различные бактерии и грибки, находящиеся в воздухе и на поверхности корня: *Botrytis cinerea*, *Fusarium*, *Penicillium* и др. Важным регулирующим фактором, оказывающим влияние на агрессивность возбудителей гнили корнеплодов свеклы, является температура. Заражение сахарной свеклы патогенами наблюдается при температуре 10°C и выше. Экспериментальные данные, полученные различными исследователями (Свиридовым А.В., Стогниенко О.И., Селивановой Г.А.) были использованы для аппроксимации. Обработку проводили на примере *Ph. Betae*. На основе методов математического моделирования предприняты попытки восстановить математические законы, используя полиномы различной степени. Приближение осуществляли с использованием средств Mathcad. На основе имеющихся данных была разработана общая модель расчета интенсивности заражения сахарной свеклы патогенными микроорганизмами кагатной гнили в зависимости от температуры. Полученная модель позволяет на основе изменяющихся экспериментальных данных получать закономерности развития микрофлоры и прогнозировать потери массы корнеплодов в условиях процесса хранения.

Ключевые слова: сахарная свекла, хранение, кагатная гниль, математическая модель

Введение

Сахарная свекла – единственная техническая культура в РФ, из которой в промышленных масштабах извлекают сахар. Процесс переработки сахарной свеклы организован таким образом, что хранению подлежат огромные объемы сырья – до 2/3 собранного урожая. В производственный сезон 2019/20 года валовый сбор сахарной свеклы по данным Росстата составил 50 788 тыс. т, что являлось абсолютным рекордом, и обеспечило длительность производственного сезона на некоторых предприятиях свыше 200 суток.

Процесс хранения сопровождается совокупностью биохимических и микробиологических процессов, в результате которых расходуется сахароза. Задача данного исследования – изучение влияния

физических и микробиологических факторов на эффективность хранения сырья, выбор условий, обеспечивающих сохранение качества свеклы.

Литературный обзор

Основным процессом, протекающим при хранении сахарной свеклы, является дыхание. Это сложный химико-биологический процесс, который даже при хранении абсолютно здоровой свеклы сопровождается потерей части сахарозы. Чем выше температура, при которой хранится свекла, тем интенсивнее протекает процесс дыхания и выше потери сахара (Шпаар, Дрегер, Захаренко, 2000). Изменение физиологического и физического состояния свеклы (увядание, прорастание, подмораживание, механические повреждения)

приводит к повышению температуры в кагатах и усилению дыхания (Свиридов, Дорошкевич, Провириков, Куликовский, 2013, С. 17–20).

При повышении температуры хранящейся свеклы на 10°C потери сахара на дыхание увеличиваются в 2,5–3 раза. Интенсивность дыхания механически поврежденных корнеплодов повышается в 2–3 раза по сравнению со здоровыми (Рисунок 1) (Калинин А. Т., Калинин А. А., 2003, с. 6).

Подмораживание корнеплодов достигается при температуре –(15–18) °С за 15–20 ч, оттаивание начинается при –3,5 °С, что значительно ухудшает качество сахарной свеклы кагате (Вострухин, Чернявская, 2004).

Значительное влияние на естественные процессы имеет степень спелости (Сапронов, Аксёнов, Смирнова, 2015, с. 139–141). Низкая способность к хранению недозревшей сахарной свеклы является следствием высокой интенсивности физиолого-биохимических процессов, приводящих к увеличению потерь массы свеклы и сахарозы.

Кроме естественных и неизбежных потерь сахарозы на дыхание при хранении свеклы в свежем состоянии возможны потери в результате жизнедеятельности бактерий и плесеней, развивающихся на разрушенных тканях корня. Заболеваниям легко подвергается свекла раненая, вялая, подмороженная или оттаявшая после замораживания. Источниками заболеваний являются различные бактерии и грибки, находящиеся в воздухе и на поверхности корня вместе с частицами почвы (Корниенко, Нанаенко, 2000, с. 11). Микроорганизмы вначале

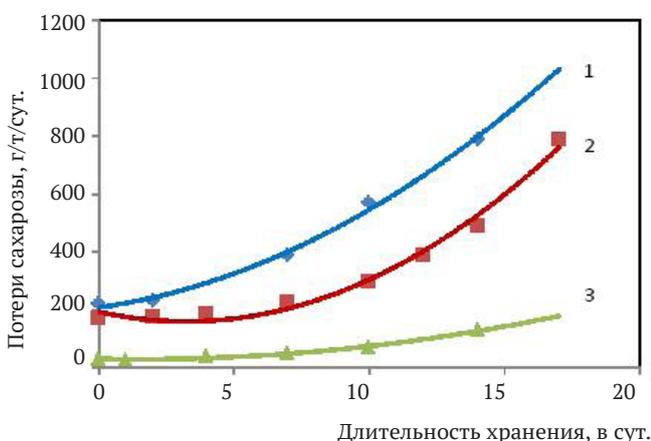


Рисунок 1. Среднесуточные потери сахарозы в зависимости от температуры хранения корнеплодов сахарной свеклы: 1 – неприятные условия хранения; 2 – средние; 3 – благоприятные условия

развиваются на отмерших клетках свеклы, затем начинают поражать живую ткань корня.

При хранении свеклы решающее значение имеет её состояние, и в первую очередь отсутствие ранений и механических повреждений. Оттаявшая свекла также является прекрасной питательной средой для микроорганизмов. Изначально на ней развиваются плесени, которые разрушают клетки поверхностного слоя кожицы. Они открывают доступ гнилостным бактериям к внутренним клеткам корня. Результаты фитопатологического состояния корнеплодов после 30 дней хранения показаны в Таблице 1 (Колягин, 2000, с. 182–190).

Таблица 1
Фитопатологические показатели корнеплодов после 30 дней хранения (II категория)

Проросшие корни, %	Заплесневевшие корни, %	Загнившие корни, %	Масса гнили, %	Среднесуточные потери, %
55,14	35,22	38,7	0,56	0,03

Таким образом, определены причины потерь массы свеклы и сахарозы в кагатах в период хранения. Изменения физико-химических свойств корнеплодов в период послеуборочного хранения обусловлены патологиями и заболеваниями культуры, а также неблагоприятными условиями хранения. Проблема потерь свекломассы не отражается только фитопатологическим аспектом, а включают ряд сложных биологических, химических и технологических параметров.

Теоретическое обоснование

Для регулирования физиологических процессов чаще всего используется активное вентилирование и укрытия, в качестве контроля - измерение температуры внутри кагата. Кроме того, зачастую приходится обрабатывать сахарную свеклу всевозможными химическими бактерицидными средствами, которые не оказывают положительного влияния на общий состав сахарной свеклы и содержание отдельных химических элементов (Борисюк, 2014, с. 2–9; Кульнева, Селезнева, Свешников, Казакевич, 2017, с. 32–34; Агафонов, Кульнева, Путилина, 2018, с. 46–50; Смирнов, Селиванова, 2020, с. 36–39).

Кагатная гниль – основная причина порчи сахарной свеклы в процессе хранения, вызывается комплексом грибов (*Botrytis cinerea*, *Fusarium*, *Penicillium*

и др.) и бактерий (Стогниенко, Селиванова, 2012, с. 39–40). Соотношение различных видов микрофлоры варьируется в зависимости от климатических условий вегетации корнеплодов Селиванова, Смирнов, 2019, с. 21–24). Определяющее значение имеет сумма атмосферных осадков на отдельных этапах вегетации (Селиванова, Смирнов, 2019, с. 22–25).

Разложение корней вызывается большим числом микроорганизмов, в состав которых входит свыше 200 видов различных грибов и около 60 видов бактерий. В конце хранения наблюдаются также значительное число видов и форм вторичной микрофлоры, из которых 74,9–91,6% составляют грибы (Свиридов, 2014).

По результатам проведенного фитопатологического анализа корнеплодов свеклы сахарной при хранении видовой состав возбудителей гнили представлен грибами *Phoma betae* Frank, *Penicillium expansum* Link, *Alternaria tenuis* Nees, *Botrytis cinerea*, *Sclerotinia sclerotiorum* (lib) de Bary, а также представителями родов *Fusarium* и *Verticillium* (Земцов, 2017; Стогниенко, 2019). Распространенность гнили на свекле сахарной находилась на уровне 51,7 – 100%, а вредоносность 3,6 – 34,6% (Таблица 2).

Патогенный комплекс возбудителей кагатной гнили сахарной свеклы довольно стабилен: основные роды и виды (*B. cinerea*, *Penicillium* sp., *Fusarium* sp.) ежегодно поражают корнеплоды при хранении, меняется лишь их частота встречаемости и доля в зависимости от срока хранения, экзогенных факторов (Стогниенко, 2015, с. 27). Наибольшей агрессивностью по отношению к корнеплодам свеклы обладают *S. sclerotiorum*, *P. expansum* и *Ph. Betae* (Селиванова, 2010; Свиридов, 2012).

Таблица 2
Видовой состав возбудителей кагатной гнили

Возбудитель	Частота встречаемости, %
<i>Fusarium</i>	42
<i>S. sclerotiorum</i>	24
<i>B. cinerea</i>	18
<i>A. tenuis</i>	6
<i>Ph. betae</i>	3
<i>P. expansum</i>	7

Установлено, что степень инфицирования корнеплодов во многом зависит от влажности воздуха и наиболее интенсивно происходит при наличии капельножидкой влаги (Свиридов, 2016).

Объекты и методы исследований

Работа носит исследовательский характер. Научная новизна исследования обусловлена использованием методов математического моделирования для обработки больших объемов информации в сфере микробиологии патогенов.

Цель работы - исследование динамики биосистемы в период послеуборочного хранения сахарной свеклы с целью прогнозирования потерь свекломассы для корректировки политики хранения и вывоза сахарной свеклы с полей. Это принципиально новый подход, не имеющий аналогов.

Выведена математическая модель изменения интенсивности развития небактериальных возбудителей кагатной гнили в зависимости от изменения температуры; предложены способы описания динамики биосистемы в целом; предложен способ расчета количества заражения сахарной свеклы кагатной гнилью без связанности со временем.

Исследования проведены на базе О.О.«Сельхозинвест» Тербунского района Липецкой области с 29 сентября 2018 года по 27 декабря 2018 года. Объектом исследования являлась сахарная свекла, заложенная для промышленного хранения на периферийных свеклопунктах. В результате анализа характеристик корнеплодов выявлены элементы схожести хранения. В качестве исходных данных биосистемы для анализа и обработки взяты результаты исследований видового состава кагатной гнили, полученные в течение последних 10 лет Свиридовым А.В., Селивановой Г.А., Стогниенко О.И.¹

Для проведения исследования использован персональный компьютер Intel Core i5 – 4570, математический пакет Mathcad Prime 3.1 (Договор № ТРУБ 27/01/17 с О.О.«ВСГ» от 14.02.2017 г. Mathcad Education – University Edition (50 pack Maintenance Gold).

Для установления математических зависимостей между интенсивностью развития патогенных ми-

¹ Россия: О ситуации на рынке сахара за период с 24 по 28 февраля 2020 года [Электронный ресурс]. U.L. <http://sugar.ru/node/30535> (дата обращения: 03.03.2020).

кроорганизмов и температурой были использованы методы нелинейной регрессии. В качестве проверки качества регрессионной модели использовали коэффициент достоверности аппроксимации.

Были применены математические сплайны или сплайн-аппроксимация с условиями склейки и без склейки.

Процедура исследования

1. Задаются начальные данные матричным способом. Начальными данными являются значения параметров и соответствующие значения функций.
2. Задается вид сплайнов на участках их действия. В данном случае это полиномы третьей степени.
3. Путем суммирования кусочных функций получали общую функцию описания закономерности
4. Система MathCad такова, что для качественного вычисления значений коэффициентов необходимо инициировать их ненулевыми значениями. Значения, которые использовали для инициации, были получены в ранних работах.
5. Добавление условий и изменение значений коэффициентов осуществляли так, чтобы они удовлетворяли условию склейки, т.е. соответствовали области возрастания функции и области убывания функции.
6. Расчет коэффициентов модели и построение графика функции: модель строится как гладко-кусочная функция.
7. Рассчитывали коэффициент детерминации, делали выводы об эффективности и адекватности модели.

Результаты и их обсуждение

Температура является определяющим фактором процесса инфицирования, так как влияет на физиологию возбудителя и корнеплода.

В производственных условиях корнеплоды сахарной свеклы закладывают на длительное хранение в кагаты с конца сентября - середины октября. Проведенные исследования показали, что в этот период температура в кагатах была на 3,1–13,1°C выше, чем температура окружающей среды, и составляла 7,0–17,0°C. С учетом складывающегося в кагате температурного режима и высокой травмированности поверхностных тканей корнеплодов сделан вывод, что заражение свеклы возбудителями кагатной гнили происходит не только в полевых условиях, но и во время закладки корнеплодов в кагаты, а также в процессе их хранения (Шкаликов, 2010).

В процессе хранения сахарной свеклы в кагатах, как правило, отмечается повышение температуры, обусловленное ростом активности дыхания корнеплодов, протекающими микробиологическими процессами, а также положительными температурами воздуха в декабре, а зачастую и в январе в связи с потеплением климата. В этот период наибольшую активность проявляют грибы рода *Fusarium* и *P. expansum*, температурный оптимум которых лежит в пределах 20–28°C (Свиридов, Дорошкевич, Просвиряков, Куликовский, 2013, с.17–20).

Таким образом, можно выделить все абиотические составляющие данного биоценоза (Таблица 3)

Многолетние наблюдения показывают, что при температуре воздуха в период хранения с конца ноября по декабрь 0+5°C происходит активное развитие патогенной микрофлоры.

Таблица 3
Предельные значения климатических параметров развития возбудителей кагатной гнили

Показатель	Возбудитель					
	<i>Ph. betae</i>	<i>A. tenuis</i>	<i>S. sclerotiorum</i>	<i>Fusarium sp.</i>	<i>B. cinerea</i>	<i>P. expansum</i>
Нижний порог температур, °C	10	10	10	10	5	5
Верхний порог температур, °C	28	28	28	28	25	32
Нижний порог влажности, %	98	98	98	98	98	98
Верхний порог влажности, %	100	100	100	100	100	100

Наиболее критическим периодом для корнеплодов является начальный период хранения в течение 10–12 суток после уборки, так как сопровождается усилением процессов дыхания и потери тургора, что обусловлено значительным травмированием корнеплодов и завершением процесса послеуборочного дозревания.

В комплексе факторов, оказывающих влияние на взаимоотношения между возбудителями гнили и корнеплодами сахарной свеклы, большое значение имеют температура и относительная влажность воздуха в кагате. Температура влияет на рост мицелия возбудителей гнили и развитие болезни, а от влажности зависит сама возможность инфицирования корнеплодов (Сапронов, 2015).

Исходя из этого, весь процесс заражения и распространения болезни можно разделить на подпроцессы, зависящие каждый от одного параметра:

- процесс первичного инфицирования, зависящий от влажности внутри кагата;
- процесс распространения заболевания и вторичного инфицирования, зависящий от температуры. Он обусловлен развитием патогенов на сахарной свекле и заражением соприкасающихся с ними корнеплодов.

Рассмотрим второй подпроцесс, поскольку он вызывает наибольшие потери свекломассы.

Важным регулирующим фактором, оказывающим влияние на агрессивность возбудителей гнили корнеплодов свеклы, является температура². Заражение растений свеклы сахарной патогенами наблюдается преимущественно при температуре 10°C и выше (Таблица 4) (Селиванова, 2007).

Экспериментальные данные таблицы были использованы для аппроксимации. Обработку проводили на примере *Ph. Betae* (Рисунок 2).

Известно из методов математического моделирования, что любую закономерность размерностью n можно описать полиномом $n-1$ степени. Были предприняты попытки восстановить математические законы, используя несколько полиномов³. Приближение осуществлялось с использованием средств Mathcad.

Применяя метод наименьших квадратов, было получено уравнение:

$$y(x) = Ax^3 + B^2 + Cx + D,$$

с коэффициентами: $A = -3,155 \times 10^{-3}$; $B = 0,115$; $C = -0,492$; $D = 0,324$. Коэффициент детерминации: $R^2 = 0,876$.

Модель в целом описывает поведение гриба. Выпадает точка экстремума, которая является крайне важной. Температура 20°C не является недостижи-

Таблица 4

Влияние температуры воздуха на интенсивность поражения корнеплодов свеклы возбудителями гнили

Температура воздуха, °C	Интенсивность поражения ткани корнеплода (на 10-е сутки),%					
	<i>Ph. betae</i>	<i>A. tenuis</i>	<i>S. sclerotiorum</i>	<i>Fusarium sp.</i>	<i>B. cinerea</i>	<i>P. expansum</i>
3	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1,25	5
10	2,5	1,25	7,5	3,75	2,5	7,5
15	7,5	3,75	10	5	3,75	15
18	10	5	15	7,5	5	15
20	15	7,5	20	8,75	6,25	17,5
22	12,5	7,5	22,5	10	6,25	17,5
25	7,5	5	15	11,25	5	20
28	5	2,5	10	10	0	17,5
32	0	0	0	0	0	2,5

² Свиридов А.В., Борель Н.П., Брилев М.С., Лукьянюк Н.А., Гринашкевич Е.В., Коломиец Э.И., Купцов В.Н., Бычек П.Н., Просвиряков В.В. Слизистый бактериоз сахарной свёклы и научно обоснованные рекомендации по защите культуры от гнилей корнеплодов : практические рекомендации. Гродно: Г.А., 2014. 26 с.

³ Соловьева О.Э., Мархасин В.С., Кацнельсон Л.Б., Сульман Т.Б., Васильева А.Д., Курсанов А.Г. Математическое моделирование живых систем: учебное пособие / под ред. О.Э. Соловьевой. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2013. 325 с.

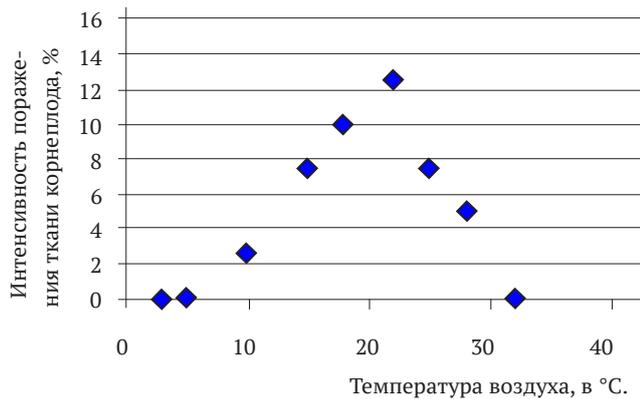


Рисунок 2. График исходных данных влияния температуры на рост конидий грибка *Ph. Betae* (Фомоз сахарной свеклы)

мой в наших широтах. Пропуская или игнорируя подобный пик, можно значительно снизить точность итоговых результатов. Поэтому, несмотря на достаточно высокий коэффициент детерминации, модель нельзя назвать удачной.

Инженерно-математическая система MathCad хорошо аппроксимирует методом наименьших квадратов полиномом до 5-й степени. Для более высоких степеней следует использовать другое программное обеспечение.

Удобным и легким в работе при аппроксимации полиномом 5-й степени показал себя метод аппроксимации с использованием встроенных средств MS Excel:

$$y(x) = 3 \times 10^{-5} x^5 - 0,002x^4 + 0,054x^3 - 0,53x^2 + 2,2676x - 3,4...$$

Коэффициент детерминации: $R^2 = 0,9522$.

Данная модель лучше описывает поведение микроорганизма на участках: $x \in [0, 10] \cup [30; 35]$. Большой диапазон не требуется, поскольку микроорганизмы в них не развиваются. Но, по-прежнему, не учитывается экстремум. Данную модель так же признаем неудовлетворительной. При более высоких степенях график становится более сглаженным и пологим, но также не включает точку в 20°C.

Проанализировав характер кривой исходных данных, можно предположить, что ее можно описать дробно-рациональной функцией вида:

$$y(x) = 1 / g(x),$$

где $g(x)$ – полином некоторой степени.

Используя дробно-рациональную функцию второй степени, было получено уравнение:

$$y(x) = 1 / (Ax^2 + Bx + C),$$

с коэффициентами: $A = 0,0032$; $B = -0,1322$; $C = 1,4225$ и коэффициентом детерминации: $R^2 = 0,962$.

Данная модель значительно лучше описывает поведение системы, включает в себя верхний экстремум, на сходе появляются лишние данные. Она хорошо описывает закономерность на участке.

Повышение степени функции $g(x)$ может дать положительные результаты. При использовании дробно-рациональной функции третьей степени было получено уравнение:

$$y(x) = 1 / (Ax^3 + Bx^2 + Cx + D),$$

с коэффициентами: $A = -8,22 \times 10^{-5}$; $B = 7,453 \times 10^{-3}$; $C = -0,199$; $D = 1,721$, коэффициент детерминации: $R^2 = 0,926$.

Результат использования кубического полинома в знаменателе дробно-рациональной функции оказался более гладким.

Применение дробно-рациональной функции третьей степени с весом позволяет получить уравнение:

$$y(x) = 1 / (Ax^3 + Bx^2 + Cx + D),$$

с коэффициентами: $A = -1,61 \times 10^{-5}$; $B = 3,569 \times 10^{-3}$; $C = -0,125$; $D = 1,271$, коэффициент детерминации: $R^2 = 0,946$.

Этот вариант считается самым удачным. Основным недостатком можно назвать плохое описание поведения грибков в нулевых точках. Исходя из предварительных данных, можно сделать вывод, что однозначно описать одной функцией процесс развития патогенов достаточно сложно. Стоит использовать кусочно-гладкую аппроксимацию, разбив диапазон температур на несколько участков и приблизив каждый из них.

Кусочно-гладкая аппроксимация включает в себя множество методов, в результате которых получают функцию вида:

$$f(x) = \begin{cases} g_0(x), & x < x_1 \\ g_1(x), & x_1 \leq x < x_2 \\ \dots & \\ g_n(x), & x_n \leq x < x_m \end{cases}$$

де $f_i(x)$ – гладкие функции⁴. В качестве составляющих часто используют полиномы разных степеней.

Оптимальным описанием может служить метод описания сплайнами с условием склейки. При использовании кубического сплайна с условием склейки была получена следующая функция:

$$f(x) = \begin{cases} a1 \cdot x^3 + b1 \cdot x^2 + c1x + d1, & 3 \leq x \leq 20 \\ a2 \cdot x^3 + b2 \cdot x^2 + c2x + d2, & 3 \leq x \leq 20 \end{cases}$$

где $a1 = -1,781 \times 10^{-3}$; $b1 = 0,091$; $c1 = -0,435$; $d1 = -8,093 \times 10^{-3}$,

$a2 = 0,027$; $b2 = -2,099$; $c2 = 52,993$; $d2 = -420,459$.

Коэффициент детерминации $R^2 = 0,96$ показывает высокую точность. График хорошо описывает экспериментальные данные, точек разрыва нет (Рисунок 3).

Результат превосходит описание просто сплайнами. Кроме высокой точности получаем непрерывность.

После проведения нескольких аппроксимаций разной степени сложности можно сделать заключение, что поведение возбудителя сложно описать конкретной функцией. Это обусловлено тем, что данные, используемые для исследований, не являются непрерывной характеристикой, а получены из десяти различных экспериментов при разных температурах. Наиболее быстро колонии растут при 20°C – эта температура наиболее оптимальна

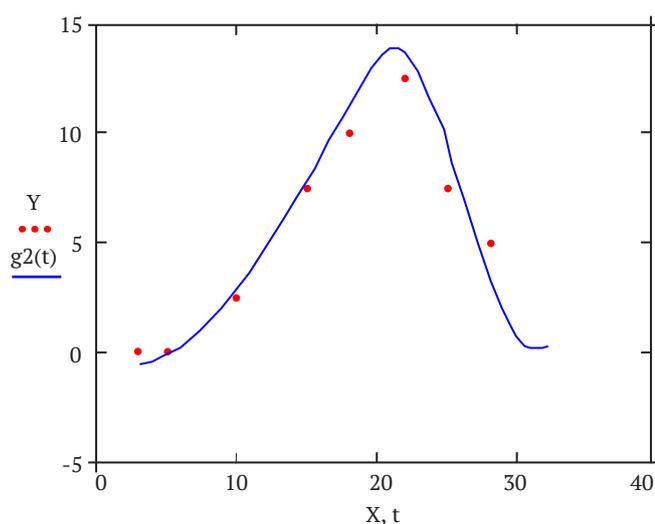


Рисунок 3. График полученной функции и исходных данных

для развития данного гриба. При более высоких или более низких температурах развитие происходит медленнее. При температуре свыше 32°C колонии погибают.

Исследования, проведенные на других микроорганизмах, экспериментальные данные о поведении которых приведены в таблице 3, подтвердили возможность применения данного подхода к прогнозированию их поведения в выбранных граничных условиях.

Выводы

Поскольку наиболее серьезной проблемой свеклосеющих предприятий является развитие кагатной гнили в период хранения корнеплодов сахарной свеклы, для понимания масштабов потерь, приносимых ею, была тщательно изучена микробиология патогенов, рассмотрено влияние на их развитие и рост окружающей среды, и влияние внешних климатических условий на микроклимат кагата в целом.

Кагатная гниль – крайне опасное поражение сахарной свеклы, препятствующее переработке корнеплодов. При количестве гнилой массы 8–10% и больше получение белого сахара затруднено. При этом использовать корнеплоды на корм животным также нельзя: гнилая масса свеклы не только не имеет кормовой ценности, но и вызывает болезни животных в силу присутствия в ней микотоксинов.

На основе имеющихся данных была разработана общая модель расчета интенсивности заражения сахарной свеклы патогенными микроорганизмами кагатной гнили в зависимости от температуры в кагате.

Микроорганизмы постоянно развиваются, мутируют и изменяются. Следовательно, меняются их реакции на климатические параметры. Достоинство выведенной модели заключается в том, что на основе экспериментальных данных легко можно получить коэффициенты в уравнении и построить ее к меняющимся условиям.

Благодарности

Просим выразить благодарность ученым, результаты исследований которых были использованы при создании математической модели изменения

⁴ Фадеев М.А. Элементарная обработка результатов эксперимента: учебное пособие. Н.Г., 2010. 122 с.

интенсивности развития небактериальных возбудителей кагатной гнили в зависимости от температуры: доктору сельскохозяйственных наук Свиридову А.В., доктору биологических наук Стогниенко О.И., кандидату сельскохозяйственных наук Селивановой Г.А.

Литература

- Агафонов Г.В., Кульнева Н.Г., Путилина Л.Н. О технологическом качестве сахарной свёклы, поражённой сосудистым бактериозом // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2018. № 1. с. 46–50.
- Борисюк П.Г. Особенности химического состава корнеплодов и их изменения во время хранения // *Вестник сахарников Украины*. 2014. № 11(102). с. 2–9.
- Вострухин Н.В., Чернявская Л.И. Потери сахарозы и их снижение при хранении сахарной свеклы. Минск: Агропромиздат. 2004. 112 с.
- Шкаликов В.А., Белошапкина О.О., Букреев Д.Д., Горбачев И.В., Джалилов С.-У., Минаев В.Ю. Защита растений от болезней / под ред. В.А. Шкаликова. 3-е изд., испр. и доп. М.: КолосС, 2010. 404 с.
- Земцов С.М., Горяйнов А.В. Гнили корнеплодов – много вопросов и мало ответов? // *Сахар*. 2017. № 4. с. 2–5.
- Калинин А.Т., Калинин А.А. Как улучшить технологические качества сахарной свеклы // *Сахарная свекла*. 2003. № 5. с. 6.
- Колягин Ю.С. Сахарная свекла // *Биологизация и адаптивная интенсификация земледелия в Центральном Черноземье* / под ред. В.Е. Шевченко, В.А. Федотова. Воронеж, 2000. с. 182–190.
- Корниенко А.В., Нанаенко Г.А. Оптимизация условий выращивания при дефиците ресурсов // *Сахарная свекла*. 2000. № 10. с. 12.
- Лукашова У.В., Бугаев Ю.В., Коробова Л.А. Прогнозирование возможных потерь при хранении сельскохозяйственного сырья в зависимости от погодных условий // *Инженерные технологии для устойчивого развития и интеграции образования, науки и производства: международная научно-практическая конференция имени В.И. Вернадского*. Тамбов: Издательский центр Ф.Б.У ВО «ТГТУ», 2020. Т. 2. с. 60–64.
- Кульнева Н.Г., Селезнева И.Г., Свешников И.Ю., Казакевич С.Ю. Контроль показателей сахарной свеклы различного качества при хранении // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2017. № 4. с. 32–34.
- Сапронов Н.М., Аксёнов Д.М., Смирнова Л.Ю. Хранение сахарной свеклы разной степени спелости под модифицированным укрытием // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2015. № 7. с. 139–141.
- Свиридов А.В. Агробиологическое обоснование развития гнилей корнеплодов свеклы сахарной и столовой и разработка системы защиты по ограничению их вредоносности в республике Беларусь: автореф. на соиск. ученой степ. д-ра с.-х. наук: 06.01.07 – Защита растений. Горки, 2016. 48 с.
- Свиридов А.В., Дорошкевич Е.И., Просвирыков В.В., Куликовский С.Е. Факторы, влияющие на микроклимат в кагатах сахарной свеклы // *Защита и карантин растений*. 2013. № 11. с. 17–20.
- Свиридов А.В., Зенчик С.С. Морфологические признаки и экологические особенности развития возбудителей кагатной гнили столовой свеклы // *Земляробства і ахова раслін*. 2012. № 4. с. 33–37.
- Селиванова Г.А., Смирнов М.А. Состав фитопатогенного комплекса кагатной гнили маточной сахарной свеклы в зависимости от погодных условий // *Сахарная свекла*. 2019. № 5. с. 21–24. <http://doi.org/10.25802/SB.2019.11.40.005>
- Селиванова Г.А., Смирнов М.А. Видовой состав возбудителей кагатной гнили маточной сахарной свеклы при хранении // *Сахар*. 2019. № 8. с. 22–25.
- Селиванова Г.А., Стогниенко О.И. Гнили корнеплодов сахарной свеклы // *Защита и карантин растений*. 2010. № 10. с. 16–17.
- Селиванова Г.А., Стогниенко О.И. Видовой состав возбудителей корневых гнилей сахарной свеклы // *Сахарная свекла*. 2007. № 1. с. 28–31.
- Смирнов М.А., Селиванова Г.А. Влияние способа обработки перед хранением на величину кагатной гнили маточных корнеплодов сахарной свеклы и ее видовой состав // *Сахарная свекла*. 2020. № 5. с. 36–39. <http://doi.org/10.25802/SB.2020.29.39.004>
- Стогниенко О.И., Стогниенко Е.С. Видовой состав возбудителей семенной инфекции сахарной свеклы // *Сахарная свекла*. 2019. № 2. с. 42–43. <http://doi.org/10.25802/SB.2019.93.51.005>.
- Стогниенко О.И., Селиванова Г.А. Видовой состав и характеристика возбудителей кагатной гнили // *Сахарная свекла*. 2012. № 9. с. 39–40.
- Стогниенко О.И., Воронцова А.И. Видовой состав возбудителей кагатной гнили сахарной свеклы при краткосрочном хранении в полевых буртах // *Защита и карантин растений*. 2015. Вып. 1. с. 26–28.
- Шпаар Д., Дрегер Д., Захаренко А., Каленская С. Сахарная свекла. Минск: ООО «ФУАинформ», 2000. 258 с.

Predicting the Development of Clamp Rot of Sugar Beet Depending on the Parameters of the Environment

Lyudmila A. Korobova

Voronezh State University engineering technologies "
394036, Russia, Voronezh, Revolution Avenue, 19.
E-mail: ngkulneva@yandex.ru

Nadezhda G. Kulneva

Voronezh State University engineering technologies "
394036, Russia, Voronezh, Revolution Avenue, 19.
E-mail: ngkulneva@yandex.ru

E-mail: ngkulneva@yandex.ru The sugar beet processing process is seasonal, with up to 60% of the harvested crop subject to storage, which increases the duration of the production season to 200 days. The objective of this study is to predict the development of microflora depending on physical factors during storage of raw materials. Changes in the physiological and physical state of beets during storage lead to losses as a result of the vital activity of microorganisms developing on the root tissues. The sources of spoilage are various bacteria and fungi in the air and on the root surface: *Botrytis cinerea*, *Fusarium*, *Penicillium*, etc. Temperature is an important regulating factor influencing the aggressiveness of the causative agents of beet root rot. Infection of sugar beet with pathogens is observed at temperatures of 10°C and above. The experimental data obtained by various researchers (Sviridov A.V., Stognienko O.I., Selivanova G.A.) were used for approximation. The processing was carried out using the example of Ph. Betae. On the basis of methods of mathematical modeling, attempts have been made to restore mathematical laws using polynomials of various degrees. The approximation was carried out using the Mathcad tools. On the basis of the available data, a general model was developed for calculating the intensity of infection of sugar beet by pathogenic microorganisms of clump rot depending on temperature. The resulting model makes it possible, on the basis of changing experimental data, to obtain patterns of microflora development and to predict the weight loss of root crops under storage conditions.

Keywords: sugar beet, storage, clamp rot, mathematical model

References

- Agafonov G.V., Kul'neva N.G., Putilina L.N. O tekhnologicheskome kachestve sakharnoi svekly, porazhennoi sosudistym bakteriozom [On the technological quality of sugar beets affected by vascular bacteriosis]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and processing of farm products], 2018, no. 1, pp. 46–50.
- Borisyuk P.G. Osobennosti khimicheskogo sostava korneplodov i ikh izmeneniya vo vremya khraneniya [Peculiarities of the chemical composition of root crops and their changes during storage]. *Vestnik sakharnikov Ukrainy* [Bulletin of sugar producers of Ukraine], 2014, no. 11(102), pp. 2–9.
- Vostrukhin N.V., Chernyavskaya L.I. Poteri sakharozy i ikh snizhenie pri khraneni sakharnoi svekly [Chernyavskaya LI Sucrose losses and their decrease during storage of sugar beets]. Minsk: Agropromizdat, 2004. 112 p.
- Shkalikov V.A., Beloshapkina O.O., Bukreev D.D., Gorbachev I.V., Dzhililov S.-U., Minaev V.Y. Zashchita rastenii ot boleznei [Plant protection against diseases]. 3rd ed. Moscow: KolosS, 2010. 404 p.
- Zemtsov S.M., Goryainov A.V. Gnili korneplodov – mnogo voprosov i malo otvetov? [Root rot - many questions and few answers]. *Sakhar* [Sugar], 2017, no. 4, pp. 2–5.
- Kalinin A.T., Kalinin A.A. Kak uluchshit' tekhnologicheskie kachestva sakharnoi svekly [How to improve the technological qualities of sugar beet]. *Sakharnaya svekla* [Sugar beet], 2003, no. 5, pp. 6.
- Kolyagin Yu.S. Sakharnaya svekla [Sugar beet]. In *Biologizatsiya i adaptivnaya intensivatsiya zemledeliya v Tsentral'nom Chernozem'e* [Biologization and Adaptive Intensification of Agriculture in the Central Black Earth Region]. Voronezh, 2000, pp. 182–190.
- Kornienko A.V., Nanaenko G.A. Optimizatsiya uslovii vyrashchivaniya pri defitsite resursov [Opti-

- mization of growing conditions with a shortage of resources]. *Sakharnaya svekla* [Sugar beet], 2000, no. 10, pp. 12.
- Lukashova U.V., Bugaev Yu.V., Korobova L.A. Prognozirovanie vozmozhnykh poter' pri khraneni sel'skokhozyaistvennogo syr'ya v zavisimosti ot pogodnykh uslovii [Designing a method for combating sugar beet root rot during post-harvest storage to improve the quality of raw materials in the sugar industry]. In *Inzhenernye tekhnologii dlya us-toichivogo razvitiya i integratsii obrazovaniya, nauki i proizvodstva: mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya imeni V.I. Vernadskogo* [System Analysis and Modeling of Quality Management Processes in the Innovative Development of the Agroindustrial Comple: Proceedings of the 4th International Scientific and Practical Conference]. Tambov: Izdatel'skii tsentr F.B.U VO «TGTU», 2020. T, 2, pp. 60–64.
- Kul'neva N.G., Selezneva I.G., Sveshnikov I.Y., Kazakevich S.Y. Kontrol' pokazatelei sakharnoi svekly razlichnogo kachestva pri khraneni [Control of indicators of sugar beets of various quality during storage]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and processing of agricultural raw materials], 2017, no. 4, pp. 32–34.
- Sapronov N.M., Aksenov D.M., Smirnova L.Y. Khranenie sakharnoi svekly raznoi stepeni spelosti pod modifitsirovannym ukrytiem [Storage of sugar beets of varying ripeness under a modified shelter]. *Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii* [Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy], 2015, no. 7, pp. 139–141.
- Sviridov A.V. Agrobiologicheskoe obosnovanie razvitiya gnilei korneplodov svekly sakharnoi i stolovoi i razrabotka sistemy zashchity po ogranicheniyu ikh vredonosnosti v respublike Belarus'. Avtopof. diss. d-ra s.-kh. Nauk [Agrobiological substantiation of the development of root rot of sugar beet and table beet and the development of a protection system to limit their harmfulness in the Republic of Belarus. Abstract of Dr. (Agriculture) thesis]. Gorki, 2016. 48 p.
- Sviridov A.V., Doroshkevich E.I., Prosviryakov V.V., Kulikovskii S.E. Faktory, vliyayushchie na mikroklimat v kagatakh sakharnoi svekly [Factors affecting the microclimate in sugar beet piles]. *Zashchita i karantin rastenii* [Plant protection and quarantine], 2013, no. 11, pp. 17–20.
- Sviridov A.V., Zenchik S.S. Morfologicheskie priznaki i ekologicheskie osobennosti razvitiya vzbuditelei kagatnoi gnili stolovoi svekly [Morphological signs and ecological features of the development of pathogens of clump rot of table beet]. *Zemlyarobstva i akhova raslin* [Earthmaking and ahova raslin], 2012, no. 4, pp. 33–37.
- Selivanova G.A., Smirnov M.A. Sostav fitopatogen-nogo kompleksa kagatnoi gnili matochnoi sakharnoi svekly v zavisimosti ot pogodnykh uslovii [The composition of the phytopathogenic complex of clump rot of mother sugar beet depending on weather conditions]. *Sakharnaya svekla* [Sugar beet], 2019, no. 5, pp. 21–24. <http://doi.org/10.25802/SB.2019.11.40.005>
- Selivanova G.A., Smirnov M.A. Vidovoi sostav vzbuditelei kagatnoi gnili matochnoi sakharnoi svekly pri khraneni [Species composition of pathogens of clump rot of mother sugar beet during storage]. *Sakhar* [Sugar], 2019, no. 8, pp. 22–25.
- Selivanova G.A., Stognienko O.I. Gnili korneplodov sakharnoi svekly [Root rot of sugar beet]. *Zashchita i karantin rastenii* [Root rot of sugar beet], 2010, no. 10, pp. 16–17.
- Selivanova G.A., Stognienko O.I. Vidovoi sostav vzbuditelei kornevykh gnilei sakharnoi svekly [Species composition of causative agents of sugar beet root rot]. *Sakharnaya svekla* [Sugar beet], 2007, no. 1, pp. 28–31.
- Smirnov M.A., Selivanova G.A. Vliyanie sposoba obrabotki pered khraneniem na velichinu kagatnoi gnili matochnykh korneplodov sakharnoi svekly i ee vidovoi sostav [Selivanova Influence of the method of processing before storage on the amount of rotten rot of uterine roots of sugar beet and its species composition]. *Sakharnaya svekla* [Sugar beet], 2020, no. 5, pp. 36–39. <http://doi.org/10.25802/SB.2020.29.39.004>
- Stognienko O.I., Stognienko E.S. Vidovoi sostav vzbuditelei semennoi infektsii sakharnoi svekly [Species composition of causative agents of seed infection of sugar beet]. *Sakharnaya svekla* [Sugar beet], 2019, no. 2, pp. 42–43. <http://doi.org/10.25802/SB.2019.93.51.005>.
- Stognienko O.I., Selivanova G.A. Vidovoi sostav i kharakteristika vzbuditelei kagatnoi gnili [Species composition and characteristics of pathogens of clump rot]. *Sakharnaya svekla* [Sugar beet], 2012, no. 9, pp. 39–40.
- Stognienko O.I., Vorontsova A.I. Vidovoi sostav vzbuditelei kagatnoi gnili sakharnoi svekly pri kratkosrochnom khraneni v polevykh burtakh [Species composition of pathogens of clump rot of sugar beet during short-term storage in field piles]. *Zashchita i karantin rastenii* [Plant protection and quarantine], 2015, vol. 1, pp. 26–28.
- Shpaar D., Dreger D., Zakharenko A., Kalenskaya S. *Sakharnaya svekla* [Sugar beet]. Minsk: OOO «FUainform», 2000, 258 p.

Аминокислотный состав белковых концентратов из вторичных продуктов пищевых производств и альтернативного сырья

Уланова Рузалия Владимировна

*Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского,
Федеральный исследовательский центр
«Фундаментальные основы биотехнологии» РАН
Адрес: 107143, Москва, проспект 60-летия Октября, д. 7, к.2.
E-mail: colodovnicova@rambler.ru*

Колпакова Валентина Васильевна

*Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов –
филиал Ф.Б.У «Федеральный научный центр пищевых систем имени В.М. Горбатова» РАН
Адрес: 140051, Московская область, г/о Люберцы,
дп. Красково, ул. Некрасова, 11
E-mail: val-kolpakova@rambler.ru*

Куликов Денис Сергеевич

*Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов –
филиал Ф.Б.У «Федеральный научный центр пищевых систем имени В.М. Горбатова» РАН
Адрес: 140051, Московская область, г/о Люберцы,
дп. Красково, ул. Некрасова, 11
E-mail: denismalah@mail.ru*

Евлагина Елена Григорьевна

*Научно-исследовательская станция шелководства –
филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения
«Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»,
Адрес: 357431, Ставропольский край, г. Железноводск, пос. Иноземцево, ул. Пушкина, 13.
E-mail: kim307@bk.ru*

Целью исследований явился сравнительный анализ биологической ценности белковых концентратов, полученных из вторичных продуктов переработки зерновых культур на крахмал с применением микроорганизмов *S. cerevisiae* 121, *G. Candidum* 977, *P. ostreatus*, *L. Acidophilus*, *S. thermophilus*, и с применением личинок насекомых *Musca domestica*, *Tenebrio molitor*, *Bombus mori*, выращенных на пшеничных отрубях, птичьим помете и листовой массе шелковицы. Результаты определения аминокислотного состава и скоро белков кормовых микробно-растительных концентратов (КМРК), биомасса для которых выращена со всеми видами личинок, а также на овсяной и гороховой сыворотке, остающейся после выделения пищевых белков из экстрактов - вторичных продуктов производства крахмала, свидетельствовали о их 100% биологической полноценности. Экстракты, из которых получали сыворотку должны иметь соотношение гороховых и овсяных белков 2:1, а сыворотка модифицироваться в полноценный К.Р. симбиозом микроорганизмов *G. candidum* и *S. cerevisiae* 121. Данные виды препаратов могут быть рекомендованы для введения в состав кормов взамен животных белков как самостоятельные ингредиенты, а препараты из тритикалевого экстракта, продуктов его переработки и кукурузного экстрактов, полученные, соответственно, с *P. Ostreatus*, *S. cerevisiae* 121 и *L. Acidophilus*, *S. thermophilus* - совместно с другими белковыми продуктами с соблюдением принципа комплементарности незаменимых аминокислот. Практическая реализация предлагаемых приемов трансформации органических отходов позволит рационально использовать вторичные материальные ресурсы и получить востребованные белковые концентраты.

Ключевые слова: ферментные препараты, белковый концентрат, вторичные продукты, личинки насекомых, незаменимые аминокислоты

Введение

Климатические изменения на земле сопровождаются негативным влиянием на агропромышленный комплекс различных стран мира, формируя принципиально новые условия для производства пищевой и кормовой продукции. Для снижения угроз продовольственной безопасности важно переориентировать и приспособить различные отрасли сельского хозяйства, пищевой и комбикормовой промышленности к новым климатическим условиям и к меньшей степени зависимости от них. Целесообразно также проведение научно-исследовательских работ, направленных на разработку новых технологических процессов и способов получения кормовых и пищевых препаратов, основанных на использовании дополнительных и доступных материальных ресурсов (Дружинин, Шкиперова, Прокопьев, 2015, с. 56–63; Кадомцева, Коростелев, 2017, с. 222–224; Коростелев, Кадомцева, 2018, с. 38–42; Яшалова, Рубан, 2018, с. 1127–1140; Pachauri, Meyer, 2014). Одним из приемов сокращения дефицита и снижения стоимости пищевого и кормового белка является производство биомассы микроорганизмов на субстратах, образовавшихся при переработке сырья агропромышленного комплекса (Белик, Моргуль, Крючкова, Аветисян, 2016, с. 122–129; Сон, Черевач, Текутьева, 2016, с. 24–27; Aggelopoulos, Bekatorou, Pandey, Kanellaki, 2013, p. 1885–1895; Anurama, Ravindra, 2000, p. 459–479).

Литературный обзор

Микробный протеин имеет ряд преимуществ, по сравнению с животным и растительным: по составу аминокислот, невысокому содержанию жира, возможности культивирования продуцентов на вторичных продуктах переработки растительного сырья: сахарного тростника, сахарной свеклы, сорго, риса (рисовых отрубях, мучке), апельсиновой выварке и др., независимо от сезона и климатических условий (Jaganmohan, Purushottam, Prasad, 2013, p. 38–43; Nurudeen, Adetayo, Bolanle, Olaltunde, 2015, p. 169–174; Oshoma, Ikenebomeh, 2005, p. 32–36; Suman, Nupur, Anuradha, Pradeep, 2015, p. 251–262). Модификаторами сырья для получения белковой биомассы могут служить представители различных видов и родов: *Aspergillus terreus*, *Trichoderma longibrachiatum*, *Aspergillus niger*. Так, на отходах производства кукурузы и сахарной мелассе ферментацией культур *Arachniotus species* и *Candida utilis* получена белковая биомасса, содержащая 16 аминокислот, включая все незаменимые (Ahmed, Ahmad, Nachmi, 2010, p. 1225–1234). Обо-

снована возможность применения рисовой мучки для получения новых видов высокоэффективных кормовых белковых добавок микробным синтезом (Сон, Черевач, Текутьева, 2016, с. 24–27). При этом биоконверсия отходов с использованием микробиологических процессов является естественным способом восстановления ресурсов (Athar, Ahmed, Hashmi, 2009, p. 115–121; Irshad, Ahmed, Latif, Rajoka, 2008, p. 913–918). Биомасса микроорганизмов активно применяется в составе кормов, значительно улучшая их кормовую ценность.

В пищевой промышленности белковые добавки из одноклеточных организмов используются ограничено из-за высокого содержания нуклеиновых кислот, плохого переваривания клеточной стенки микроорганизмов. Введение биомассы микроорганизмов в состав продуктов возможно только после глубокой переработки - фракционирования или модификации биомассы, позволяющих получать препараты, максимально адаптированные к организму человека. Значительный интерес представляет выделение из биомассы микроорганизмов различных фракций белков и их использование как основы для получения целевых продуктов (Хамнаева, Кондрашева, 2004, с. 136).

В качестве альтернативного источника пищевого и кормового белка интерес исследователей в последние годы обращен к насекомым. По мнению ряда авторов (Han, Shin, Kim, Choi, Kim, 2017, p. 139–216; Rumpold, Schlüter, 2013, p. 1–11; Varelas, 2019, p. 81), продовольственный сектор может быть расширен за счет массового производства биомассы насекомых. Многочисленные исследования последних лет свидетельствуют о важности и экономической перспективности развития данного направления (Ganda, Zannou-Boukari, Kenis, Chrysostome, Mensah, 2019, p. 59–67; Pavela, Benelli, Petrelli, Cappellacci, Lupidi, Sut, Dall'Acqua, Maggi, 2019, p. 879; Premalatha, Abbasi T., Abbasi T., Abbasi S.A., 2011, p. 4357–4360; Sanou, Sankara, Pousga, Coulibaly, Nacoulma, Kenis, Clottey, Nacro, Somda, Ouedraogo, 2020, p. 219–228; Van Huis, 2013, p. 2–4). Мука из насекомых может заменить дефицитную рыбную муку в качестве кормового ингредиента и применяться в отрасли аквакультуры, возможна перспектива введения съедобных насекомых в развивающийся сектор сельского хозяйства и пищевой промышленности (Уланова, Кравченко, Колпакова, 2018, с. 252–254; Уланова, Кузнецов, Аксенов, 2005, с. 47; Van Huis, 2013, p. 563–583). В некоторых странах мира насекомые и их личинки входят в состав рациона питания с доказательством их безвредности. Например, оценка безопасности куколок шелкопряда серией токсических тестов на крысах

показала, что их белок можно считать безопасным при максимальной дозе 1,50 г/кг массы тела в день (Zhou, Han, 2006, p. 1123–1130). В составе куколок шелкопряда доказано отсутствие тяжелых металлов: свинца, ртути, кадмия, мышьяка, сорбиновой кислоты (Sirimungkararat, Saksirirat, Nopparat, Natongkham, 2008, p. 189–200). Однако получение белка из личинок насекомых для индустрии питания имеет ряд технологических особенностей, так как они, как и сами насекомые, могут содержать нежелательные микроорганизмы, в связи с чем необходимо проводить их обеззараживание. Бланшировка, сублимационная сушка и стерилизация позволяют снизить микробное загрязнение до допустимых норм (Megido, Desmedt, Blecker, Béra, Haubruge, Alabi, Francis, 2017, p. 12). Но препятствием для введения белковых добавок из личинок насекомых в технологию производства продуктов питания является отсутствие законодательных актов, регулирующих вопросы безопасности для допуска к использованию новых их видов в составе пищевых продуктов (Van der Spiegel, Noordam, Van der Fels-Klerx, 2013, p. 662–678), и негативное восприятие населением из-за отсутствия информации о положительных свойствах данных продуктов. В целом же проведенные исследования указывают на высокий кормовой и пищевой потенциал, как биомассы микроорганизмов, так и личинок насекомых.

Нами выполнены ранее исследования по выделению жидкостными способами некоторых форм белковых продуктов из насекомых. Так, установлено, что оптимальными условиями экстрагирования белков личинок домашних мух раствором гидроксида натрия 0,2% (вес/объем) являлось: соотношение раствора к материалу 5:1, температура экстракции 80 °С и время - 20 минут. При этом выход белков личинок домашних мух составил 57,53% (Ulanova, Kravchenko, 2016, p. 182–188). С применением водной экстракции на основе белкового гидролизата личинок домашних мух (*Musca domestica* L) разработан заменитель животного молока для пищевых целей (Ulanova, Kravchenko, 2014, p. 286–291).

Теоретическое обоснование

Методы выделения белковых продуктов из насекомых относительно простые и недорогие, но также, как и для растительного сырья, для этих

целей используют растворы щелочи, что нежелательно для сохранения аминокислотного состава и свойств исходного сырья. В своих исследованиях по утилизации вторичных продуктов переработки зерновых и зернобобовых культур на крахмал методами биоконверсии с получением кормовых микробно-растительных концентратов (КМПК) мы не применяли щелочные растворы и высокие температуры в целях исключения протекания ряда специфических превращений аминокислот (аргинина, цистеина, лизина и т.д.), их конденсаций с образованием поперечных связей и реакции меланоидинообразования с углеводами, понижающих питательную ценность, по сравнению с нативными белками. Поэтому представлялось интересным изучить и сравнить аминокислотный состав белковых концентратов (БК), полученных по разработанным нами способам из вторичных продуктов переработки зерна, образующихся при производстве нативного крахмала, биоконверсией с микроорганизмами, а при производстве рутин - с использованием насекомых.

Целью работы явилась сравнительная оценка аминокислотного состава белковых концентратов кормового и пищевого назначения, полученных микробным синтезом из вторичных продуктов переработки зерновых и зернобобовых культур (тритикале, кукуруза, горох, овес) на крахмал, и альтернативного сырья - насекомых *Musca domestica*, *Tenebrio molitor*, *Bombyx mori*, для определения направлений возможного использования их в пищевых продуктах и комбикормах.

Материалы и методы исследования

Материалом для получения кормовых микробно-растительных концентратов (КМПК) служили вторичные продукты переработки зерна тритикале (ГОСТ 34023–2016¹); кукурузы (ГОСТ 32159–2013²), овса (ГОСТ 28673–2019³) и гороха (ГОСТ 28674–1990⁴) на крахмал А. Вторичные продукты из зерна тритикале представлены экстрактом, мезгой, сывороткой и нерастворимым остатком. Химический состав зерна тритикале, из которого выделяли крахмал, БК и вторичные продукты переработки, в% на сухие вещества (СВ), следующий: крахмал – 63,8; белок – 10,1; жир – 1,5; зола

¹ ГОСТ 34023–2016. Тритикале. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2018. 6 с.

² ГОСТ 32159–2013. Крахмал кукурузный. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2019. 12 с.

³ ГОСТ 28673–2019. Овес. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2019. 8 с.

⁴ ГОСТ 28674–90. Горох требования при заготовках и поставках. М.: Стандартинформ, 2007. 7 с.

– 1,72; восстанавливающие сахара – 10,0. Методы определения показателей химического состава изложены в работе (Андреев, Колпакова, Кравченко, Уланова, Шевякова, Макаренко, Лукин, 2017, с. 90–104). Дробленое зерно тритикале замачивали в 0,15±0,05% растворе диоксида серы в течение 22–45 ч при температуре 49±1°C и соотношении раствора к массе зерна 2,0–2,5:1. Экстракт, отделенный от зерна центрифугированием при 4000 мин⁻¹, имел рН 5,10±0,1, содержал 11,00±1,05% СВ, из которых 20,40±2,10% составлял белок, определенный по методу Кьельдаля (Nx5,7).

Переработку зерна на крахмал осуществляли в экспериментальном цехе Ф.Б.У ВНИИ крахмалопродуктов. Мезгу, содержащую преимущественно клетчатку, с влажностью 10% размалывали до частиц размером 20–100 мкм. Сыворотку и нерастворимый остаток получали после осаждения белковых веществ 0,1 н раствором HCl в изоэлектрической точке (рН 4,2) из экстракта, обработанного ферментными препаратами (ФП) по разработанной ранее нами схеме (Андреев Н.Р., Колпакова В.В. Гольдштейн В.Г. 2018). Для выделения БК использовали ферментные препараты (ФП) компании фирмы Novozymes A.S. (Дания): Shearzym 500 L из *Aspergillus oryzae* с грибной ксиланазной активностью 500 Г.А./г и оптимальными условиями действия 65–75°C, рН 4,5–5,5. В качестве источника целлюлазной, α-амилазной и β-глюканазной активности использовали Viscoferm L, продуцируемый штаммами *Trichoderma* и *Aspergillus* с цитолитической активностью 600 ед/г сырья, оптимумом действия при 50–60°C и рН 4,8–5,8. В качестве источника α-амилазы использовали Fungamyl 800 L из плесени *Aspergillus oryzae* (50–60°C, рН 5,0–6,5), амилоглюкозидазы – А.Г.300 L 2500, выделенный из гриба *Aspergillus niger* с оптимумом действия в области 55–60°C, рН 4,5–5,5. В качестве источника протеаз использовали ФП Distizym Protacid фирмы «Erbslon». Концентрации ФП изменяли от 50 до 190 ед./г СВ, продолжительность экстракции – от 1 до 5 ч, гидромодуль – от 1:7 до 1:25.

Вторым объектом выступал экстракт тритикале без выделения из него белковых веществ с химическим составом, изложенным выше. Третьим объектом для биосинтеза К.Р. служил экстракт кукурузы (ГОСТ 51953- 2002) с содержанием СВ 6% и массовой долей белка 7–8% на СВ. Для получения экстракта зерно замачивали водой с 0,1–0,2% диоксида серы с рН 3,3–4,1 при температуре 48...50°C в течение 45 ч. В качестве четвертого объекта выступала композиция из двух видов сыворотки, полученной после осаждения белков при

рН 4,2 из растворов, в которые они перед осаждением переведены с ФП из экстрактов гороха и овса. Количества гороховой и овсяной сыворотки в композиции соответствовали соотношению белка в них 2:1, соответственно. Экстракты содержали 5–8% СВ и массовую долю белка 8,62–19,26% на СВ. Качество пшеничных отрубей соответствовало требованиям ГОСТ 7169–2017.

В работе использовали различные роды и виды микроорганизмов из коллекции Института микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН Биологическими модификаторами компонентов сырья в первом варианте выступали дрожжи *S. cerevisiae* L., во втором для экстракта тритикале – высший съедобный базидиальный гриб *P. ostreatus*, в третьем для замочных вод кукурузы – молочнокислые бактерии (МКБ) *L. acidophilus* и *S. thermophilus*, в четвертом для композитной сыворотки – *S. cerevisiae* L. совместно с *G. Candidum*. Последний используется в сыроделии. Музейные культуры с сула-агара (СА) пересеивали в пробирку с 5 см³ питательной среды из вторичных продуктов переработки зерновых культур с последующим культивированием в течение 24 ч. Посевную культуру пересеивали в колбы емкостью 300 см³ с 50 см³ питательной среды и выращивали на качалке при скорости вращения 150 мин⁻¹ в течение 48 ч и температуре 27°C±1°C.

Процедура исследования

Для получения БК путем модификации состава пшеничных отрубей использовали личинки *Tenebrio molitor*, состава помета птицы – личинки *Musca domestica*, листовой шелковицы – куколки тутового шелкопряда *Bombyx mori* (Рисунок 1). Личинки и куколки тутового шелкопряда получали из коллекции Научно-исследовательской станции шелководства (пос. Иноземцево, Ставропольский край).

Аминокислотный состав белков определяли на жидкостном хроматографе модели L8800-фирмы «Hitachi» (Япония) в стандартном режиме с сульфированным сополимером стирола с дивинилбензолом и ступенчатым градиентом натрий-цитратных буферных растворов с возрастающим значением рН и молярности. Хроматограф оснащен спектрофотометрическим детектором с коррекцией aberrаций (длины волн 570 и 440 нм), и колонкой 4,6x60 мм. Данные обрабатывали в online системе «МультиХром 1.52» для Windows 98. Навеску 3–5 мг образца помещали в стеклянную ампулу, затем добавляли 300 мкл смеси концентрированной соляной и трифторуксусной кислот (2:1) с



Рисунок 1. Биологические модификаторы вторичных продуктов пищевых производств и альтернативного сырья

0,1% 2-меркаптоэтанолом и замораживали в жидком азоте, вакуумировали и проводили гидролиз при 155°C в течение 1 ч. Из образцов удаляли гидролизуемую смесь упариванием на роторном испарителе (Centrivar Concentrator Labconco, USA). К остатку добавляли 0,1н HCl и центрифугировали 5 мин при 800xg на центрифуге Microfuge 22R (Beckman-Coulter, USA⁵ Аминокислотный скор белковых препаратов рассчитывали с использованием эталонной шкалы ФАО/ВОЗ (1973 г), которая приведена в работе, по методике, изложенной в пособии.⁶ Для определения доверительного интервала среднего арифметического результата 3–5-х измерений использовали критерий Стьюдента на уровне значимости $p = 0,05$.

Для разработки способов получения кормовых и пищевых белковых препаратов с биологическими модификаторами (микроорганизмами и личинками насекомых) для получения питательной среды использовали сырье, описанное в разделе «Материалы и методы». Вторичные продукты из зерновых культур для питательной среды (экстракты, мезгу, нерастворимый остаток) получали по схеме выделения тритикалевого и кукурузного крахмала, представленной на Рисунке 2.

Экстракт зерна тритикале обрабатывали ФП на 3-х стадиях, в соответствии с методикой, описанной в работе (Андреев, Колпакова, Гольдштейн, 2018, с. 30–33). Суспензии, полученные с ФП на каждой стадии, центрифугировали при 5000 мин⁻¹, получали нерастворимый остаток и белковые растворы (Рисунок 3). Растворы объединяли, и из них осаждали белки в изоэлектрической точке (рН 4,2). Суспензию с осажденным белком центрифугировали,

получали сыворотку и пасту белкового концентрата. Мезгу, нерастворимый остаток (концентрат полисахаридов) и сыворотку в соотношении, соответственно, 2÷4:4÷6:92 по массе использовали для получения биомассы ферментацией с дрожжами *S. cerevisiae* 121. Экстракт кукурузы ферментировали симбиозом молочнокислых бактерий *L. acidophilus* и *S. thermophilus*; тритикалевым экстракт – с *P. ostreatus*; сыворотку, полученную после выделения белкового композита из горохового и овсяного экстрактов, взятых в соотношении 2:1, – с *G. candidum* 977 и *S. cerevisiae* 121. После ферментации культуру продуцента инактивировали при температуре 90–95°C в течение 10 мин, биомассу отделяли от культуральной жидкости центрифугированием при 4000 мин⁻¹ в течение 10 мин и лиофильно высушивали (Рисунок 3).

Для получения белковых препаратов из насекомых биомассу личинок *Musca domestica* на помете птицы и биомассу *Tenebrio molitor* на пшеничных отрубях выращивали при 25–28°C и относительной влажности 65–75% в течение 6–7 дней. Для получения биомассы личинок *Bombyx mori* использовали умершвленные куколки тутового шелкопряда породы Белокопная 1, районированные в Ставропольском крае и выращенные в лабораторных условиях. Выкормку гусениц производили на листьях шелковицы. Умершвление куколок в коконах производили горячим паром в кономорильной камере при температуре 70–80°C в течение 25–30 мин. Белковые препараты из личинок получали по схеме, приведенной на рисунке 4, в соответствии с которой их биомассу промывали водой при 90 °C, измельчали ее до размера частиц 400–500 мкм, извлекали липидную фрак-

⁵ Химический состав пищевых продуктов / под ред. И.М. Скурихина, М.Н.Волгарева. М.: Агропромиздат, 1987. Т. 2. 360 с.

⁶ Нечаев А.П., Траубенберг С.Е., Кочеткова А.А., Витол И.С., Колпакова В.В., Севериненко С.М., Осташенкова Н.В., Кобелева И.Б., Вяльцева И.В. Пищевая химия: лабораторный практикум. СПб: Г.О.Д, 2006, 304 с.

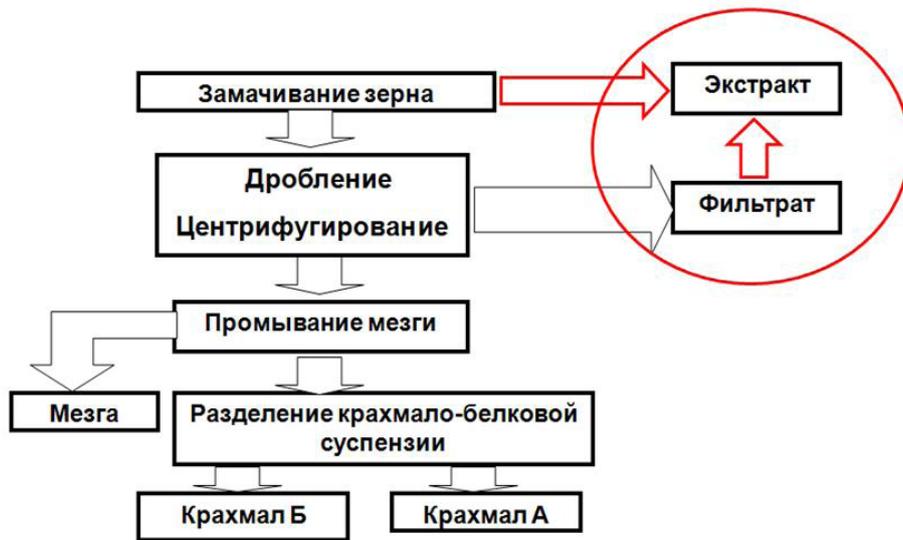


Рисунок 2. Схема получения экстракта и мезги

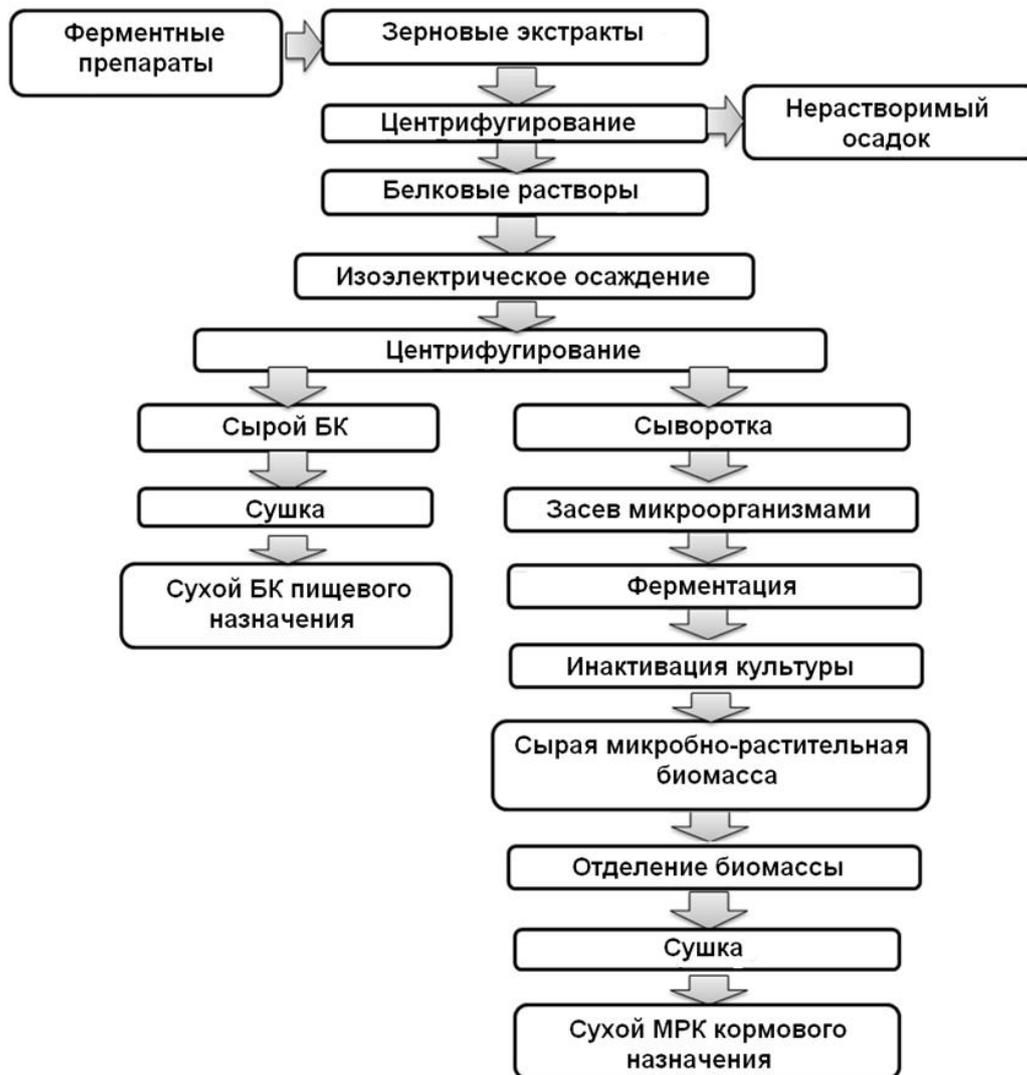


Рисунок 3. Принципиальная схема получения белкового концентрата и кормовых КРМК



Рисунок 4. Схема получения белкового препарата из биомассы личинок насекомых

цию смесью хлороформа и метанола при соотношении 2:1. Экстракцию белковых компонентов из обезжиренного продукта осуществляли 0,2 %-ным раствором N.O. при перемешивании в течение 30 мин, температуре 60–80°C и встряхивании при 150 мин⁻¹. Нерастворимый хитин удаляли фильтрованием, белки из фильтрата осаждали в изоэлектрической точке при pH 4,5–4,8, центрифугировали и высушивали на лиофильной установке марки Hochvacuum, модели H.D.TG-50 (Германия) при температуре на входе -40°C, выходе +26°C и вакуумной заморозке до -80°C.

Результаты и их обсуждение

Важным критерием биологической ценности белковых препаратов является аминокислотный состав. Сравнительное изучение состава аминокислот белковых препаратов, полученных путем биологической модификации вторичных продуктов производства крахмала, шелковицы и отходов птицеводства выявило некоторые отличия в их количестве и качестве. Белки К.Р. и белкового концентрата из личинок насекомых (БКЛН) по составу протеиногенных аминокислот близки между собой. Все препараты содержали полный набор наиболее распространенных аминокислот (Таблица 1). Исключение составили, так называемые, «редкие» аминокислоты. В препаратах 1, 2, 3, синтезированных на сыворотке, тритикалевом и кукурузном экстрактах, содержался орнитин, с участием которого в живых организмах, включая бактерии и грибы, происходит синтез мочевины и аминокислоты пролина. В составе белков БКЛН, как и в белке препарата 4, полученном на комбинированной зерновой сыворотке, он не обнаружен. Гидроксилизин, как и орнитин, присутствовал в белках, синтезированных на тритикалевой сыворотке и кукурузном экстракте, тогда как в препаратах, выращенных на остальных средах, он отсутствовал.

Между препаратами отмечены некоторые отличия в сумме незаменимых аминокислот (НАК) (Рисунок 5). Наибольшая сумма НАК наблюдалась у препарата 6, полученного из биомассы личинок *Musca domestica*, наименьшая – у препарата 2, полученном на кукурузном экстракте с *L. acidophilus* и *S. thermophiles*.

Сумма НАК препаратов, полученных из вторичных продуктов переработки зернового сырья с микроорганизмами, изменялась в диапазоне 34,03 – 43,70 г/100 г, белковых препаратов из личинок насекомых – в пределах 48,60–50,49 г/100 г белка, следовательно, последние в своем составе содержали на 23% больше таких кислот. Сравнение скоры НАК у разных образцов показывает, что наименьшие его значения характерны для К.М., полученного на экстракте из кукурузы, в данном концентрате в дефиците содержались Ile, Lys, серосодержащие и ароматические аминокислоты (Рисунок 6). Низкий скор первых трех видов НАК характерен и для большинства зерновых культур, в частности, кукурузы, следовательно, состав питательной среды модифицирован незначительно, так, как только три НАК (лейцин, валин, треонин) содержались в рекомендуемых количествах. Образец 4, биомасса которого выращена на комбинированной сыворотке из овса и гороха, имел полностью сбалансированный состав НАК у КРМК, полученного из тритикалевого экстракта, после удаления из последнего белков (мезга, сыворотка, нерастворимый остаток) (образец 1) и у КРМК, произведенного из целого экстракта (образец 3), наблюдался дефицит только серосодержащих НАК другие аминокислоты в нем содержались в достаточном количестве (>100%). Следовательно, 4-й образец предпочтительнее, с точки зрения биологической ценности, по сравнению с образцами, полученными из другого вида зернового сырья и с другими микроорганизмами. БКЛН характеризовались более высоким содержанием серосодержа-

Таблица 1.
Аминокислотный состав белковых препаратов, г/100 г белка

Аминокислоты	Белковые препараты, полученные культивированием с:						
	микроорганизмами				личинками насекомых		
	1	2	3	4	5	6	7
Asp	11,30 ±0,05	7,15 ±0,12	9,22 ±0,21	11,90 ±0,15	13,30 ±0,14	7,93 ±0,13	10,45 ±0,25
Thr	5,14 ±0,21	4,50 ±0,10	4,30 ±0,13	6,90 ±0,14	4,50 ±0,20	4,26 ±0,16	3,46 ±0,17
Ser	5,61 ±0,05	5,12 ±0,03	5,13 ±0,11	7,10 ±0,08	4,30 ±0,09	3,55 ±0,07	5,00 ±0,32
Glu	14,00 ±0,32	15,52 ±0,38	13,72 ±0,41	14,6 ±0,29	12,3 ±0,26	12,25 ±0,22	13,70 ±0,19
Pro	3,73 ±0,09	11,50 ±0,12	4,50 ±0,15	4,30 ±0,10	3,60 ±0,08	9,03 ±0,16	3,60 ±0,05
Gly	4,65 ±0,07	15,52 ±0,17	5,53 ±0,07	5,10 ±0,05	4,0 ±0,12	3,64 ±0,06	5,03 ±0,09
Ala	10,41 ±0,21	10,07 ±0,27	6,44 ±0,16	7,20 ±0,18	5,10 ±0,28	4,28 ±0,31	3,77 ±0,25
Cys	5,13 ±0,23	0,98 ±0,07	0,21 ±0,10	0,10 ±0,06	0,30 ±0,08	0,00 ±0,01	2,34 ±0,26
Val	1,70 ±0,04	5,48 ±0,17	6,40 ±0,24	6,90 ±0,29	6,70 ±0,31	6,43 ±0,27	4,04 ±0,16
Met	1,00 ±0,25	2,11 ±0,18	1,22 ±0,04	0,40 ±0,20	2,70 ±0,19	4,26 ±0,15	12,10 ±0,29
Ile	4,74 ±0,21	3,46 ±0,13	4,63 ±0,10	5,20 ±0,22	5,10 ±0,17	4,64 ±0,20	3,49 ±0,12
Leu	8,00 ±0,09	9,69 ±0,18	9,34 ±0,29	8,50 ±0,11	8,40 ±0,25	5,79 ±0,07	5,96 ±0,10
Tur	2,53 ±0,15	0,05 ±0,23	4,10 ±0,16	3,20 ±0,06	7,10 ±0,24	9,99 ±0,19	4,64 ±0,18
Phe	4,60 ±0,18	3,23 ±0,28	4,71 ±0,35	5,30 ±0,25	5,60 ±0,17	8,94 ±0,29	3,40 ±0,12
Lys-OH	0,28 ±0,09	5,28 ±0,23	0,0 ±0,01	0,0 ±0,01	0,0 ±0,01	0,0 ±0,01	0,0 ±0,01
Orn	3,75 ±0,23	2,74 ±0,25	0,42 ±0,13	0,0 ±0,01	0,10 ±0,05	0,0 ±0,01	0,0 ±0,01
Lys	8,51 ±0,24	4,53 ±0,17	6,14 ±0,27	7,0 ±0,38	8,20 ±0,34	6,18 ±0,28	5,35 ±0,18
His	2,60 ±0,17	1,99 ±0,10	6,21 ±0,24	1,90 ±0,14	2,30 ±0,17	5,86 ±0,22	2,01 ±0,13
Arg	1,93 ±0,11	1,01 ±0,04	8,13 ±0,28	4,50 ±0,25	6,40 ±0,19	2,98 ±0,18	4,00 ±0,10

Примечание: 1 - *S. cerevisiae* 121 на тритикалиевой сыворотке с мезгой и остатком; 2 - *L. acidophilus* и *S. thermophilus* на кукурузном экстракте; 3 - *P. ostreatus* на тритикалевой сыворотке; 4 - *G. candidum* и *S. cerevisiae* 121 на гороховой и овсяной сыворотке; 5 - *Bombus mori* на листьях шелковицы; 6 - *Musca domestica* на помете птицы; 7 - *Tenebrio molitor* - на пшеничных отрубях

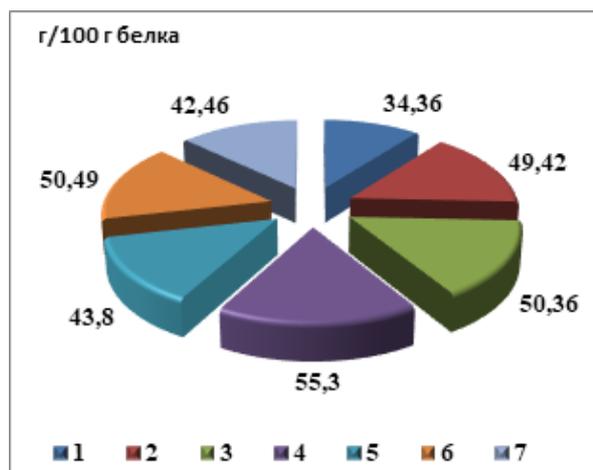


Рисунок 5. Сумма НАК.белковых препаратов, полученных с биологическими агентами: 1 – *S. cerevisiae* 121; 2 – *L. acidophilus* + *S. Thermophilus*; 3 – *P. ostreatus*; 4 – *G. candidum* + *S. cerevisiae* 121; 5 – *Bombyx mori*; 6 – *Musca domestica*; 7 – *Tenebrio molitor*

щих НАК по сравнению с КРМК, полученными из вторичных продуктов переработки зерна на крахмал, за исключением образца 4. Незначительным дефицитом серосодержащих НАК отличался КРМК под номером 5, полученным с *Bombyx mori* на листьях шелковицы, лейцина – КРМК под номером 6, выращенном с *Musca domestica* на помете птицы

КРМК, для которого биомасса выращена с *Tenebrio molitor* на пшеничных отрубях, имел 100% биологическую ценность. Важно отметить, что БКЛН, полученные с использованием личинок насекомых, за исключением образца 4 (на овсяной и гороховой сыворотке), содержали в достаточном количестве наиболее дефицитные НАК лизин, треонин, серосодержащие аминокислоты.

Известно, что животный белок содержит все незаменимые аминокислоты, однако в организм человека с ним могут поступать насыщенные жирные кислоты и холестерин, которые способствуют ожирению, сахарному диабету, сердечно-сосудистым заболеваниям. В препаратах, полученных из исследуемого сырья, включая альтернативное, практически отсутствовали нежелательные для организма вещества липидной природы. Если сравнить технологии получения БК микробным синтезом и получения БКЛН на основе личинок насекомых, то можно отметить, что каждая из них имеет свои достоинства. Микробной ферментации на экстрактах свойственна невысокая стоимость конечной продукции за счет снижения материальных, энергетических затрат на подготовку питательного субстрата, обслуживание процесса ферментации и экономия воды. Для технологии получения БКЛН на основе личинок насекомых характерна низкая стоимость исходного сырья, минимальное количество отходов и низкие про-

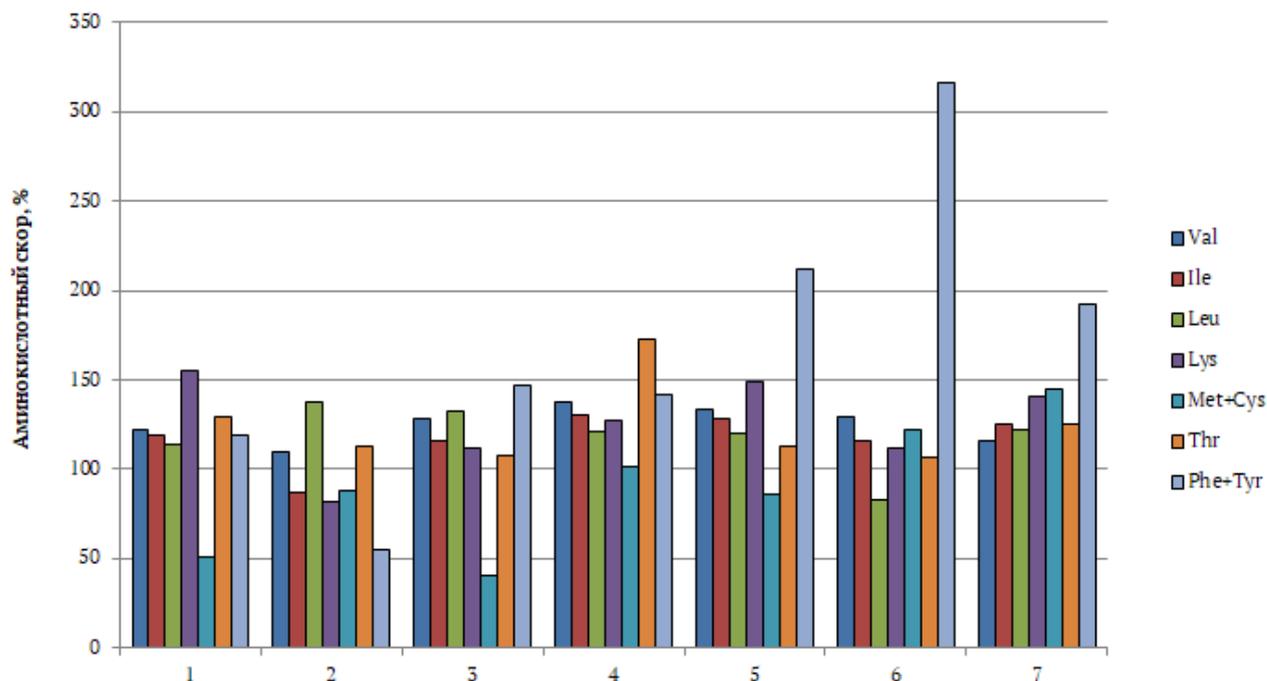


Рисунок 6. Аминокислотный скор БК, полученных с: 1 – *S. cerevisiae* 121; 2 – *L. acidophilus* + *S. Thermophiles*; 3 – *P. ostreatus*; 4 – *G. candidum* + *S. cerevisiae*; 5 – *Bombyx mori*; 6 – *Musca domestica*; 7 – *Tenebrio molitor*

изводственные затраты на процесс, поэтому оба направления являются перспективными.

Выводы

Выполнен сравнительный анализ биологической ценности белковых концентратов, полученных из вторичных продуктов переработки зерновых культур на крахмал с применением микроорганизмов *G. candidum*, *S. cerevisiae*, *P. ostreatus*, а также из пшеничных отрубей, птичьего помета и листовой массы шелковицы с личинками насекомых *Musca domestica*, *Tenebrio molitor*, *Bombyx mori*. Результаты определения аминокислотного состава и расчета сгора белков К.М., полученных на овсяной и гороховой сыворотке, остающейся после выделения пищевых белков из экстрактов при производстве крахмала, при соотношении в них белков 1:2, соответственно, с симбиозом микроорганизмов *G. candidum* и *S. cerevisiae*, а также концентратов, произведенных из исследуемых личинок насекомых, свидетельствовали об их 100% биологической полноценности. Данные препараты могут быть рекомендованы для введения в состав кормов и пищевых продуктов взамен животных белков как самостоятельные ингредиенты, а препараты из тритикалевого экстракта, продуктов его переработки (мезга, сыворотка, нерастворимый остаток) и кукурузного экстракта, полученные, соответственно, с модификаторами *P. Ostreatus*, *S. cerevisiae* 121 и *L. acidophilus* + *S. Thermophiles*, целесообразно применять совместно с другими продуктами при соблюдении принципа комплементарности НАК. Практическая реализация предлагаемых приемов трансформации органических отходов позволит рационально использовать вторичные материальные ресурсы и получить востребованные белковые концентраты

Литература

- Андреев Н.Р., Колпакова В.В. Гольдштейн В.Г. К вопросу глубокой переработки зерна тритикале // Пищевая промышленность. 2018. № 9. с. 30–33.
- Андреев Н.Р., Колпакова В.В., Кравченко И.К., Уланова Р.В., Шевякова Л.В., Макаренко М.А., Лукин Н.Д. Утилизация вторичных продуктов переработки тритикале с получением кормового микробно-растительного концентрата для прудовых рыб // Юг России: экология. Развитие. 2017. № 4. с. 90–104. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2017-4-90-104>
- Белик С.Н., Моргуль Е.В., Крючкова В.В., Аветисян З.Е. Продукты микробного синтеза в решении проблемы белкового дефицита // Wschodnioeuropejskie czasopismo naukowe. 2016. Vol. 7, issue 1. P. 122–129.
- Дружинин П.В., Шкиперова Г.Т., Прокопьев Е.А. Влияние изменения климата на сельское хозяйство российских регионов // Регионология. 2015. Т. 91, № 2. с. 56–63.
- Кадомцева М.Е., Коростелев В.Г. Влияние глобальных климатических изменений на состояние мировых земельных ресурсов // Устойчивое развитие мирового сельского хозяйства. 2017. № 1. с. 222–224.
- Коростелев В.Г., Кадомцева М.Е. Агрострахование как элемент климатически оптимизированного сельского хозяйства // Международный сельскохозяйственный журнал. 2018. Т. 365, № 5. с. 38–42. <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2018-15074>
- Сон О.М., Черевач Е.И., Текутьева Л.А. Использование отходов зерноперерабатывающей промышленности в микробиологическом синтезе кормового белка // Хранение и переработка сельхозсырья. 2016. № 12. с. 24–27.
- Уланова Р.В., Кравченко И.К., Колпакова В.В. Комплексная переработка личинок комнатной мухи с использованием биологических методов // Актуальная биотехнология. 2018. Т. 26, № 3. с. 252–254.
- Уланова Р.В., Кузнецов Б.Б., Аксенов А.В. Технология производства нового белкового препарата // Комбикорма. 2005. № 2. с. 47.
- Хамнаева Н.И., Кондрашева Е.В. Об использовании микробной биомассы для получения новых кондитерских изделий // Успехи современного естествознания. 2004. № 4. с. 136.
- Яшалова Н.Н., Рубан Д.А. Долговременные риски российского растениеводства в условиях глобальных изменений климата в контексте продовольственной безопасности // Региональная экономика: теория и практика. 2018. Т. 16, № 6. с. 1127–1140. <https://doi.org/10.24891/re.16.6.1127>
- Aggelopoulos T., Bekatorou A., Pandey A., Kanellaki M., Koutinas A.A. Discarded Oranges and Brewer's Spent Grains as Promoting Ingredients for Microbial Growth by Submerged and Solid State Fermentation of Agro-industrial Waste Mixtures // Applied Biochemistry and Biotechnology. 2013. Vol. 170, issue 8. P. 1885–1895. <https://doi.org/10.1007/s12010-013-0313-0>
- Ahmed S., Ahmad F., Nachmi A.S. Production of microbial biomass protein by fermentation of *Arachniotus sh.*, and *Candida utilis* // Pakistan Journal of Botany. 2010. Vol. 42, issue 2. P. 1225–1234.
- Van Huis A. Edible insects contributing to food security // Agriculture & Food Security. 2015. Vol. 4, no. 20. P. 2–4. <https://doi.org/10.1186/s40066-015-0041-5>

- Athar M.S., Ahmed S., Hashmi A.S. Bioconversion of beet pulp to microbial biomass protein by *Candida utilis* // *Journal of the Chemical Society of Pakistan*. 2009. Vol. 31. P. 115–121.
- Ganda H., Zannou-Boukari E.T., Kenis M., Chrysostome C.A.A.M., Mensah G.A. Potentials of animal, crop and agri-food wastes for the production of fly larvae. *Journal of Insects as Food and Feed*. 2019. Vol. 5, no. 2. P. 59–67. <https://doi.org/10.3920/JIFF2017.0064>
- Han R., Shin J.T., Kim J., Choi Y.S., Kim Y.W. An overview of the South Korean edible insect food industry: challenges and future pricing/promotion strategies // *Entomological Research*. 2017. Vol. 47, issue 3. P. 139–216. <https://doi.org/10.1111/1748-5967.12230>
- Irshad M., Ahmed S., Latif F., Rajoka M.I. Regulation of Endo- β -D- Xylanase and β - Xylosidase synthesis in *Humicola lanuginosa* // *Journal of the Chemical Society of Pakistan*. 2008. Vol. 30. P. 913–918.
- Pachauri R.K., Meyer L.A. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and I.I. to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate. I.C., Geneva, Switzerland, 2014. 151 p. U.L. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf (дата обращения: 10.08.2020).
- Jaganmohan P.B., Purushottam D., Prasad S.V. Production of Single Cell Protein (SCP) with *Aspergillus terreus* Using Solid State Fermentation // *European Journal of Biological Sciences*. 2013. Vol. 5, issue 2. P. 38–43. <https://doi.org/10.5829/idosi.ejbs.2013.5.2.7210>
- Megido R.C., Desmedt S., Blecker C., Béra F., Haubruge E.T., Alabi T., Francis F. Microbiological Load of Edible Insects Found in Belgium // *Insects*. 2017. Vol. 8, issue 1. P. 12. <https://doi.org/10.3390/insects8010012>
- Nurudeen O.O., Adetayo O.M., Bolanle A.S.R., Olaltunde O.A.L. Cellulase and Biomass Production from Sorghum (*Sorghum guineense*) Waste by *Trichoderma longibrachiatum* and *Aspergillus terreus* // *Journal of Microbiology Research*. 2015. Vol. 5, issue 6. P. 169–174. <https://doi.org/10.5923/j.microbiology.20150506.01>
- Oshoma C.E., Ikenebomeh M.J. Production of *Aspergillus niger* biomass from rice bran // *Pakistan Journal of Nutrition*. 2005. Vol. 4, issue 1. P. 32–36. <https://doi.org/10.3923/pjn.2005.32.36>
- Pavela R., Benelli G., Petrelli R., Cappellacci L., Lupidi G., Sut S., Dall'Acqua S., Maggi F. Exploring the Insecticidal Potential of Boldo (*Peumus boldus*) Essential Oil: Toxicity to Pests and Vectors and Non-target Impact on the Microcrustacean *Daphnia magna* // *Molecules*. 2019. Vol. 24, issue 5. P. 879. <https://doi.org/10.3390/molecules24050879>
- Premalatha M., Abbasi T., Abbasi T., Abbasi S.A. Energy-efficient food production to reduce global warming and ecodegradation: The use of edible insects // *Renewable and Sustainable. Energy Reviews*. 2011. Vol. 15, issue 9. P. 4357–4360. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.115>
- Anupama, Ravindra P. Value added Food: Single cell protein // *Biotechnology Advances*. 2000. Vol. 18, issue 6. P. 459–479. [https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(00\)00045-8](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(00)00045-8)
- Rumpold B., Schlüter O. Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2013. Vol. 17. P. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.11.005>
- Sanou A.G., Sankara F., Pousga S., Coulibaly K., Nacoulma J.P., Kenis M., Clottey V.A., Nacro S., Somda I., Ouedraogo I. Indigenous practices in poultry farming using maggots in western Burkina Faso // *Journal of Insects as Food and Feed*. 2020. Vol. 4, no. 4. P. 219–228. <https://doi.org/10.3920/JIFF2018.0004>
- Sirimungkararat S., Saksirirat W., Nopparat T., Natongkham A. Edible products from eri silkworm (*Samia ricini* D.) and mulberry silkworm (*Bombyx mori* L.) in Thailand // *Forest insects as food: humans bite back. Proceedings of a Workshop on Asia-Pacific Resources and Their Potential for Development*. Chiang Mai, Thailand, 2008. P. 189–200.
- Suman G., Nupur M., Anuradha S., Pradeep B. Single Cell Protein Production: a Review // *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2015. Vol. 4, no. 9. P. 251–262. U.L. <https://www.ijcmas.com/vol-4-9/Gour%20Suman,%20et%20al.pdf> (дата обращения: 10.08.2020).
- Ulanova R., Kravchenko I. Development and evaluation of novel insect-based milk substitute // *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology*. 2014. Vol. 3, no. 6. P. 286–291.
- Ulanova R., Kravchenko I. Housefly Larvae as a Source of Good Quality Renewable Protein Product 1 // *Entomology and Applied Science Letters*. 2016. Vol. 3, no. 5. P. 182–188. U.L. <https://easletters.com/en/article/shi2-housefly-larvae-as-a-source-of-good-quality-renewable-protein-product> (дата обращения: 10.08.2020).
- Van der Spiegel M., Noordam M.Y., Van der Fels-Klerx H.J. Safety of novel protein sources (insects, microalgae, seaweed, duckweed, and rapeseed) and legislative aspects for their application in food and feed production // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2013. Vol. 12, issue 6. P. 662–678. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12032>

- Van Huis A. Potential of insects as food and feed in assuring food security // *Annual Review of Entomology*. 2013. Vol. 58. P. 563–583. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704>
- Varelas V. Food Wastes as a Potential New Source for Edible Insect Mass Production for Food and Feed // *Fermentation-Basel*. 2019. Vol. 5, issue 3. P. 81. <https://doi.org/10.3390/fermentation5030081>
- Zhou J., Han D. Safety evaluation of protein of silkworm (*Antheraea pernyi*) pupae // *Food and Chemical Toxicology*. 2005. Vol. 44, issue 7. P. 1123–1130. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2006.01.009>

Amino Acid Composition of Protein Concentrates from Secondary Products of Food Production and Alternative Raw Materials

Ruzaliya V. Ulanova

*S.N. Vinogradsky Institute of Microbiology, Federal Research Center
“Fundamental Foundations of Biotechnology”, of Russian Academy of Science
7, 60th anniversary of October Avenue, Moscow, 107143, Russian Federation
E-mail: colodovnicova@rambler.ru*

Valentina V. Kolpakova

*All-Russian Research Institute for Starch Products – Branch of V.M.
Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences
11, Nekrasova str., Kraskovo, Moscow region, 140051, Russian Federation
E-mail: val-kolpakova@rambler.ru*

Denis S. Kulikov

*All-Russian Research Institute for Starch Products – Branch of V.M.
Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences
11, Nekrasova str., Kraskovo, Moscow region, 140051, Russian Federation
E-mail: denismalah@mail.ru*

Elena G. Evlagina

*Research station of sericulture – Branch of Federal State Budget Scientific Institution
“North Caucasian Federal Scientific Agricultural Center”
13, Pushkina str., Zheleznovodsk, Inozemtsevo, Stavropol Territory, 357431, Russian Federation
E-mail: kim307@bk.ru*

The aim of the research is a comparative analysis of the biological value of protein concentrates obtained from secondary products of grain processing for starch with the use of microorganisms *S. cerevisiae* 121, *G. candidum* 977, *P. ostreatus*, *L. acidophilus*, *S. thermophilus*, and with the use of insect larvae *Musca domestica*, *Tenebrio molitor*, *Bombyx mori* grown on wheat bran, poultry manure and mulberry leaves. The results of determining the amino acid composition and the rate of proteins of feed microbial-plant concentrates (FMPC), the biomass for which was grown with all types of larvae, and also on oat and pea whey remaining after the isolation of food proteins from extracts - secondary products of starch production, testified to their 100% biological value. The extracts from which the whey was obtained should have a ratio of pea and oat proteins of 2:1, and the whey should be modified into a full-fledged F.P. by symbiosis of microorganisms *G. candidum* and *S. cerevisiae* 121. These types of preparations can be recommended for introduction into the composition of feed instead of animal proteins as independent ingredients, and preparations from triticale extract, products of its processing and corn extracts obtained, respectively, with *P. ostreatus*, *S. cerevisiae* 121 and *L. acidophilus*, *S. thermophilus* - together with other protein products in compliance with the principle of complementarity of essential amino acids. Practical implementation of the proposed methods for the transformation of organic waste will allow rational use of secondary material resources and obtain demanded protein concentrates.

Keywords: enzyme preparations, protein concentrate, by-products, insect larvae, essential amino acids

References

- Andreev N.R., Kolpakova V.V. Gol'dshtein V.G. K vo-
prosu glubokoi pererabotki zerna triticale [On
the issue of deep processing of triticale grain].
Pishchevaya promyshlennost' [Food industry],
2018, no. 9, pp. 30–33.
- Andreev N.R., Kolpakova V.V., Kravchenko I.K., Ulanova R.V., Shevyakova L.V., Makarenko M.A., Lukin N.D. Utilizatsiya vtorichnykh produktov pererabot-

- ki tritikale s polucheniem kormovogo mikrobnorastitel'nogo kontsentrata dlya prudoval'nykh ryb [Utilization of secondary products of triticale processing to obtain microbial and plant feed concentrate for pond fish]. *Yug Rossii: ekologiya. Razvitie* [South of Russia: ecology. Development], 2017, no. 4, pp. 90–104. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2017-4-90-104>
- Belik S.N., Morgul' E.V., Kryuchkova V.V., Avetisyan Z.E. Produkty mikrobnogo sinteza v reshenii problemy belkovogo defitsita [Microbial synthesis products in solving the problem of protein deficiency]. *Wschodnioeuropejskie czasopismo naukowe* [East European scientific journal], 2016, vol. 7, issue 1, pp. 122–129.
- Druzhinin P.V., Shkiperova G.T., Prokop'ev E.A. Vliyaniye izmeneniya klimata na sel'skoe khozyaistvo rossiiskikh regionov [Impact of climate change on agriculture in Russian regions]. *Regionologiya* [Regionology], 2015, vol. 91, no 2, pp. 56–63.
- Kadomtseva M.E., Korostelev V.G. Vliyaniye global'nykh klimaticheskikh izmenenii na sostoyaniye mirovykh zemel'nykh resursov [The impact of global climate change on the state of the world's land resources]. *Ustoichivoe razvitie mirovogo sel'skogo khozyaistva* [Sustainable Development of World Agriculture], 2017, no. 1, pp. 222–224.
- Korostelev V.G., Kadomtseva M.E. Agrostrakhovanie kak element klimaticheskoi optimizirovannogo sel'skogo khozyaistva [Agricultural insurance as an element of climate-smart agriculture]. *Mezhdunarodnyi sel'skokhozyaistvennyi zhurnal* [International Agricultural Journal], 2018, vol. 365, no. 5, pp. 38–42. <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2018-15074>
- Son O.M., Cherevach E.I., Tekut'eva L.A. Ispol'zovanie otkhodov zernopererabatyvayushchei promyshlennosti v mikrobiologicheskom sinteze kormovogo belka [The use of wastes from the grain processing industry in the microbiological synthesis of fodder protein]. *Khraneniye i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and processing of farm products], 2016, no. 12, pp. 24–27.
- Ulanova R.V., Kravchenko I.K., Kolpakova V.V. Kompleksnaya pererabotka lichinok komnatnoi mukhi s ispol'zovaniem biologicheskikh metodov [Complex processing of house fly larvae using biological methods]. *Aktual'naya biotekhnologiya* [Actual biotechnology], 2018, vol. 26, no. 3, pp. 252–254.
- Ulanova R.V., Kuznetsov B.B., Aksenov A.V. Tekhnologiya proizvodstva novogo belkovogo preparata [Technology for the production of a new protein preparation]. *Kombikorma* [Compound feed], 2005, no. 2, pp. 47.
- Khamnaeva N.I., Kondrasheva E.V. Ob ispol'zovanii mikrobnoi biomassy dlya polucheniya novykh konditerskikh izdelii [On the use of microbial biomass to produce new confectionery]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in modern natural science], 2004, no. 4, pp. 136.
- Yashalova N.N., Ruban D.A. Dolgovremennyye riski rossiiskogo rasteniyevodstva v usloviyakh global'nykh izmenenii klimata v kontekste proizvodstvennoi bezopasnosti [Long-term risks of Russian crop production in the context of global climate change in the context of food security]. *Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika* [Regional economy: theory and practice], 2018, vol. 16, no. 6, pp. 1127–1140. <https://doi.org/10.24891/re.16.6.1127>
- Aggelopoulos T., Bekatorou A., Pandey A., Kanelaki M., Koutinas A.A. Discarded Oranges And Brewer's Spent Grains as Promoting Ingredients for Microbial Growth by Submerged and Solid State Fermentation of Agro-Industrial Waste Mixtures. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 2013, vol. 170, issue 8, pp. 1885–1895. <https://doi.org/10.1007/s12010-013-0313-0>
- Ahmed S., Ahmad F., Hachmi A.S. Production of Microbial Biomass Protein by Fermentation of Arachnoidus Sh., and Candida Utilis. *Pakistan Journal of Botany*, 2010, vol. 42, issue 2, pp. 1225–1234.
- Van Huis A. Edible Insects Contributing to Food Security. *Agriculture & Food Security*, 2015, vol. 4, no. 20, pp. 2–4. <https://doi.org/10.1186/s40066-015-0041-5>
- Athar M.S., Ahmed S., Hashmi A.S. Bioconversion of Beet Pulp to Microbial Biomass Protein by Candida Utilis. *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, 2009, vol. 31, pp. 115–121.
- Ganda H., Zannou-Boukari E.T., Kenis M., Chrysothome C.A.A.M., Mensah G.A. Potentials of Animal, Crop and Agri-Food Wastes for The Production of Fly Larvae. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2019, vol. 5, no. 2, pp. 59–67. <https://doi.org/10.3920/JIFF2017.0064>
- Han R., Shin J.T., Kim J., Choi Y.S., Kim Y.W. An Overview of The South Korean Edible Insect Food Industry: Challenges and Future Pricing/Promotion Strategies. *Entomological Research*, 2017, vol. 47, issue 3, pp. 139–216. <https://doi.org/10.1111/1748-5967.12230>
- Irshad M., Ahmed S., Latif F., Rajoka M.I. Regulation of Endo-β-d- Xylanase and β- Xylosidase Synthesis in Humicola Lanuginosa. *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, 2008, vol. 30, pp. 913–918.
- Pachauri R.K., Meyer L.A. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and I.I. to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate. I.C., Geneva, Switzerland, 2014. 151 p. U.L. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/05/SYR_AR5_FINAL_full_wcover.pdf (accessed 10.08.2020).

- Jaganmohan P.B., Purushottam D., Prasad S.V. Production of Single Cell Protein (SCP) with *Aspergillus terreus* Using Solid State Fermentation. *European Journal of Biological Sciences*, 2013, vol. 5, issue 2, pp. 38–43. <https://doi.org/10.5829/idosi.ejbs.2013.5.2.7210>
- Megido R.C., Desmedt S., Blecker C., Béra F., Haubruge E.T., Alabi T., Francis F. Microbiological Load of Edible Insects Found in Belgium. *Insects*, 2017, vol. 8, issue 1, pp. 12. <https://doi.org/10.3390/insects8010012>
- Nurudeen O.O., Adetayo O.M., Bolanle A.S.R., Olaltunde O.A.L. Cellulase and Biomass Production from Sorghum (*Sorghum guineense*) Waste by *Trichoderma longibrachiatum* and *Aspergillus terreus*. *Journal of Microbiology Research*, 2015, vol. 5, issue 6, pp. 169–174. <https://doi.org/10.5923/j.microbiology.20150506.01>
- Oshoma C.E., Ikenebomeh M.J. Production of *Aspergillus Niger* Biomass from Rice Bran. *Pakistan Journal of Nutrition*, 2005, vol. 4, issue 1, pp. 32–36. <https://doi.org/10.3923/pjn.2005.32.36>
- Pavela R., Benelli G., Petrelli R., Cappellacci L., Lupidi G., Sut S., Dall'Acqua S., Maggi F. Exploring the Insecticidal Potential of Boldo (*Peumus boldus*) Essential Oil: Toxicity to Pests and Vectors and Non-Target Impact on the Microcrustacean *Daphnia Magna*. *Molecules*, 2019, vol. 24, issue 5, pp. 879. <https://doi.org/10.3390/molecules24050879>
- Premalatha M., Abbasi T., Abbasi T., Abbasi S.A. Energy-Efficient Food Production to Reduce Global Warming and Ecodegradation: The use of Edible Insects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2011, vol. 15, issue 9, pp. 4357–4360. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.115>
- Anupama, Ravindra P. Value added Food: Single cell protein. *Biotechnology Advances*, 2000, vol. 18, issue 6, pp. 459–479. [https://doi.org/10.1016/S0734-9750\(00\)00045-8](https://doi.org/10.1016/S0734-9750(00)00045-8)
- Rumpold B., Schlüter O. Potential and Challenges of Insects as an Innovative Source for Food and Feed Production. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 2013, vol. 17, pp. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.11.005>
- Sanou A.G., Sankara F., Pousga S., Coulibaly K., Nacoulma J.P., Kenis M., Clottey V.A., Nacro S., Somda I., Ouedraogo I. Indigenous Practices in Poultry Farming Using Maggots in Western Burkina Faso. *Journal of Insects as Food and Feed*, 2020, vol. 4, no. 4, pp. 219–228. <https://doi.org/10.3920/JIFF2018.0004>
- Sirimungkararat S., Saksirirat W., Nopparat T., Natongkham A. Edibleproducts from Eri Silkworm (*Samia Ricini* D.) and Mulberry Silkworm (*Bombyx Mori* L.) In Thailand. In *Forest Insects as Food: Humans Bite Back*, Proceedings of a Workshop on Asia-Pacific Resources and Their Potential for Development. Chiang Mai, Thailand, 2008, pp. 189–200.
- Suman G., Nupur M., Anuradha S., Pradeep B. Single Cell Protein Production: A.R.view. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 2015, vol. 4, no. 9, pp. 251–262. <https://www.ijcmas.com/vol-4-9/Gour%20Suman,%20et%20al.pdf> (accessed 10.08.2020).
- Ulanova R., Kravchenko I. Development and Evaluation of Novel Insect-Based Milk Substitute. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology*, 2014, vol. 3, no. 6, pp. 286–291.
- Ulanova R., Kravchenko I. Housefly Larvae as a Source of Good Quality Renewable Protein Product 1. *Entomology and Applied Science Letters*, 2016, vol. 3, no. 5, pp. 182–188. <https://easletters.com/en/article/shi2-housefly-larvae-as-a-source-of-good-quality-renewable-protein-product> (accessed 10.08.2020).
- Van der Spiegel M., Noordam M.Y., Van der Fels-Klerx H.J. Safety of Novel Protein Sources (Insects, Microalgae, Seaweed, Duckweed, and Rapeseed) and Legislative Aspects for Their Application in Food and Feed Production. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2013, vol. 12, issue 6, pp. 662–678. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12032>
- Van Huis A. Potential of Insects as Food and Feed in Assuring Food Security. *Annual Review of Entomology*, 2013, vol. 58, pp. 563–583. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704>
- Varelas V. Food Wastes as a Potential New Source for Edible Insect Mass Production for Food and Feed. *Fermentation-Basel*, 2019, vol. 5, issue 3, pp. 81. <https://doi.org/10.3390/fermentation5030081>
- Zhou J., Han D. Safety Evaluation of Protein of Silkworm (*Antheraea pernyi*) Pupae. *Food and Chemical Toxicology*, 2005, vol. 44, issue 7, pp. 1123–1130. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2006.01.009>

Функционально-технологические свойства подсолнечной муки

Фролова Александра Евгеньевна

*Ф.Б.У ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»
Адрес: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, д. 46
E-mail: frolova_ae@mail.ru*

Щетинин Михаил Павлович

*ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
125080, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11
E-mail: shchetininmihail@mgupr.ru
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»
Адрес: 656038, город Барнаул, пр. Ленина, д. 46
E-mail: ish1955@mail.ru*

Целью настоящей работы является изучение функционально-технологических свойств муки подсолнечной, которая может быть использована для создания структуры продуктов питания и их обогащения. На основе дисперсионного анализа получены математические модели, описывающие зависимости жиродерживающей, водоудерживающей и пенообразующей способностей, а также стойкости пены подсолнечной муки от температуры обработки и продолжительности ее воздействия. Установлено, что оптимальными условиями термической обработки муки являются температура обработки - 60 °С, время воздействия - 30 мин, при этом происходит улучшение органолептических показателей и уменьшение ее влажности. Проведены лабораторные исследования по показателям сорбционных и поверхностно-активных свойств муки в сравнении с ядром и жмыхом подсолнечным, которые показали, что жиродерживающая способность муки ниже, чем у ядра и жмыха подсолнечного, но она обладает более высокими показателями стойкости пены, пенообразующей способности и способности адсорбировать воду. Использование муки при производстве продуктов питания более технологически целесообразно и экономически выгодно, по сравнению с использованием для этих целей ядра и жмыха подсолнечника. Результаты исследований применения разработанного продукта для различных технологических целей могут быть использованы при разработке рецептур различных продуктов питания эмульсионной структуры, в том числе обогащенных.

Ключевые слова: мука подсолнечная; жмых подсолнечный; вторичные ресурсы растительного сырья; обогащение продуктов; функционально-технологические свойства, поверхности отклика

Введение

Подсолнечник является основной масличной культурой Алтайского края.¹ При промышленной переработке подсолнечных семян образуется большое количество вторичного сырья - жмыха и шрота, которые используются в основном в сельском хозяйстве (Щеколдина, 2015, с. 360–378).

После извлечения масла методом холодного прессования подсолнечный жмых обладает высокими показателями по содержанию массовой доли белка, относительно низкой себестоимостью и отсутстви-

ем вредных веществ, а также компонентов, препятствующих полноценному усвоению продукта. Богатый аминокислотный состав жмыха (Минакова, Щербаков, Ширококорядов, 2007, с. 9–10; Николаев, Карапетян, Чеханова, Липова, Брюшно, Шерстюгина, Зелянов, 2016, с. 1293–1303) способствует использованию его в качестве сырья при производстве обогащенных продуктов питания (Бычкова, Рождественская, Погорова, Госман, Бычков, 2018, с. 46–54).

Целью исследований является изучение функционально-технологических свойств муки подсолнечной, обеспечивающих возможность ее использования для обогащения продуктов пита-

¹ Растениеводство. А.К.края [Электронный ресурс]. U.L. <http://www.altagro22.ru/apk/rastenievodstvo/> (дата обращения: 14.02.2020).

ния незаменимыми аминокислотами и пищевыми волокнами.

Объектом исследований служила мука подсолнечная из производственного жмыха, полученного в цехах О.О.«Интер-масло», О.О.«Алтайский продукт» и О.О.«Маслобойный завод» из заводских смесей семян подсолнечника современных сортов по традиционной технологии холодного отжима. В качестве контроля при расчете коэффициентов пенообразующей способности и стойкости пены использовали белок куриного яйца.

Как известно, полезность белков в пищевых продуктах обуславливается их функциональными свойствами, существенно влияющими на технологические и потребительские свойства белковых продуктов на всех стадиях жизненного цикла продукции от переработки до хранения и потребления (Писарева, 2015, с. 460–464; Покровский, 1964, с. 3–15; Щетинин, Фролова, 2013, с. 156–160).

К функционально-технологическим свойствам белков относят жироудерживающую (ЖУС), водоудерживающую (ВУС) и пенообразующую способность (ПОС), стойкость пены (СП) (Толстогузов, 1987).

ВУС характеризует свойства белкового продукта абсорбировать и прочно связывать свободную влагу в процессе технологической обработки пищевого продукта за счет присутствия гидрофильных групп (Рензеева, 2009, с. 23–26; Vyakhaya, Parvez, 2019, p. 729–733).

ЖУС характеризуется адсорбцией жира за счет водоотталкивающих участков белковых молекул (Воронова, Бередин, 2016, с. 114–117; Огнева, Николаенко, 2015, с. 32–35; Хабибулина, Гордиенко, Шишова, Дмитриева, 2015, С. 5–7).

ПОС – количество пены, выражаемое ее объемом (см³) или высотой столба (мм), которое получается из установленного неизменного объема пенообразующего раствора при соблюдении определенных стандартных условий пенообразования на протяжении постоянного времени (Руководство В.И.Ж, 1967)².

СП – способность пены сохранять общий объем, дисперсность и не допускать вытекания жидкости за определенное время (Щербаков, Лобанов,

Минакова, 2010; Хабибулина, Гордиенко, Шишова, Дмитриева, 2015, С. 5–7).

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в 3–5 кратной повторности в лабораториях кафедры «Технология продуктов питания» Ф.Б.У ВО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова» методиками, рекомендованными В.И. жиров (Руководство В.И.Ж, 1967) с последующей обработкой методами математической статистики.

После обработки подсолнечной муки кондуктивно-конвективным способом для улучшения органолептических показателей и уменьшение ее влажности (Щетинин, Фролова, Мелёшкина, 2014, с. 129–132) изучали ее функциональные свойства: ЖУС ВУС ПОС СП в сравнении с ядром подсолнечника и со жмыхом подсолнечным. Исследование проводили по методикам, рекомендованным руководством В.И.Ж (Руководство В.И.Ж, 1967; Щербаков, 2010). Данные функциональные свойства определяют технологические условия использования белковых добавок в составе пищевых продуктов.

Для определения ЖУС навеска исследуемых продуктов помещалась в предварительно взвешенную стеклянную центрифужную пробирку, добавлялось определенное количество рафинированного дезодорированного подсолнечного масла. Полученная смесь перемешивалась в течение 1 мин при скорости вращения ротора 1000 об/мин, далее отстаивалась 30 мин, затем центрифугировалась 15 мин при 4000 об/мин.

Неадсорбированное масло сливалось, центрифужная пробирка устанавливалась в наклонном положении под углом 10–15° на 10 мин для удаления остатков масла, затем пробирки взвешивались. Процентно-весовым методом ЖУС рассчитывалась по формуле

$$\text{ЖУС} = (a - b) / c \cdot 100\%,$$

где а – масса пробирки с навеской и связанным маслом, г;

б – масса пробирки с навеской, г;

с – навеска, г.

² Руководство по методам исследования, технологическому контролю и учету производства в масло-жировой промышленности / под общ. ред. В.П. Ржехина, А.Г. Сергеева. Л.: Изд-во В.И.Ж, 1967. Т.1, кн. 1–2. 1024 с.

Определение ВУС продукта проводилось аналогично путем добавления к навеске вместо масла воды. Высокая ВУС является важным требованием при использовании сырьевых компонентов в пищевой промышленности, так как захват молекул воды повышается из-за образования большого числа химических связей при раскручивании молекулы белка, кроме того, значительную роль оказывает содержание крахмала и пищевых волокон в исследуемом продукте (Хабибулина, Гордиенко, Шишова, Дмитриева 2015, С. 5–7; Arrutia, Binner, Williams, Waldron, 2020, p. 88–102).

На следующем этапе определяли пенообразующую способность и стойкость пены белкового продукта. Пена - дисперсная система с фазой газовой дисперсии в твердой или жидкой дисперсионной среде. По своей структуре пены схожи с концентрированными эмульсиями, но основным отличием является газовая дисперсная среда, а не жидкая.

Для определения ПОС бралась навеска продукта с содержанием сухого вещества 6 г, которая помещалась в химический стакан, добавлялось 25 см³ дистиллированной воды и растиралась до образования однородной суспензии. В градуированный мерный цилиндр количественно переносилась полученная смесь, общий объем жидкости доводился дистиллированной водой до 300 см³. В контрольном опыте в качестве навески был выбран белок куриного яйца. Контрольный и опытный образцы одновременно встряхивали в течение 1 мин., после чего измерялся объем образовавшейся пены.

ПОС рассчитывалась по формуле

$$ПОС = V_{п} / V_{ж} \cdot 100\%,$$

где $V_{п}$, $V_{ж}$ – высота слоя пены и первоначально взятой жидкости соответственно, мм.

Коэффициент пенообразующей способности рассчитывался по формуле

$$K_{ПОС} = (ПОС_{с} / ПОС_{к}) \cdot 100\%,$$

где $ПОС_{с}$, $ПОС_{к}$ – пенообразующая способность исследуемого продукта и белка куриного яйца соответственно, %.

Для определения СП цилиндры после встряхивания оставались на 1 мин, затем измерялась высота оставшейся пены. Расчет проводился по формуле

$$СП = (V_{пс} / V_{п}) \cdot 100\%,$$

где $V_{п}$, $V_{пс}$ – высота первоначального слоя пены и слоя пены после отстаивания, мм.

Коэффициент стойкости пены рассчитывался по формуле

$$K_{СП} = (СП_{с} / СП_{к}) \cdot 100\%,$$

где, $СП_{с}$, $СП_{к}$ – стойкость пены исследуемого продукта и белка куриного яйца соответственно.

Обработка полученных данных осуществлялась с применением программных средств - Microsoft Excel 2010 и системы компьютерной алгебры MathCAD Professional. С помощью программы TableCurve 3D на основе комплекса исходных данных, полученных эмпирическим путем, были построены математические модели в виде трехмерных поверхностей отклика. В целях получения достоверных результатов экспериментов было определено количество повторностей каждого опыта, достаточно большее для получения среднего значения, отклоняющегося от среднего значения общей совокупности не более чем на величину доверительного интервала. Планирование эксперимента и обработку данных проводили в соответствии с методикой (Василенко, Фролова, Дерканосова, Михайлова, Щепкина, Давыдов, 2018, с. 37–42; Березина, Артёмов, Хмельова, Никитин, 2019, с. 60–63). При выполнении работы спланированы и поставлены полные факторные эксперименты П.Э.2² и П.Э.2³. С помощью дисперсионного анализа были выявлены отдельные факторы, влияющие на функцию отклика.

Результаты и их обсуждение

Исследуемая мука подсолнечная представляет собой порошкообразный сыпучий продукт светло-серого цвета со свойственным ядру подсолнечного семени вкусом и запахом, при проведении физико-химического анализа установлено, что содержание в ней белка составляет от 39,0 до 45,0%, жиров – от 7,0 до 12,0%, клетчатки – от 10,0 до 15,0%, массовая доля влаги – от 2,0 до 6,0%.

Исследование химического состава белковых фракций полученной подсолнечной муки показало, что наибольшим количеством белка, коррелирующим с наибольшим содержанием фосфора, обладает фракция с размером частиц 25–35 мкм (Широкорядова, Минакова, Щербаков, Логунова, 2008, с. 23–24).

Получены математические модели в виде уравнений регрессии с удовлетворительным уровнем аппроксимации, описывающие зависимости ЖУС и ВУС от температуры обработки и продолжительности ее воздействия:

$$Y_1(x_1, x_2) = 101,565 - 5,695x_1 + 6,755x_2 + 4,135x_1x_2,$$

где x_1 – температура обработки,
 x_2 – длительность обработки,
 Y_1 – жиродерживающая способность (ЖУС, %) муки подсолнечной.

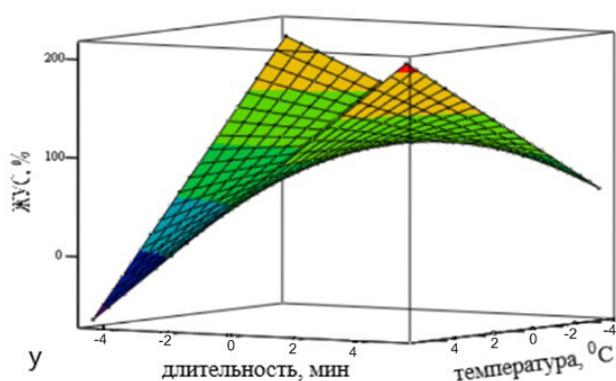
$$Y_2(x_1, x_2) = 195,327 - 15,827x_1 - 2,238x_2 + 2,258x_1x_2,$$

где x_1 – температура обработки,
 x_2 – длительность обработки,
 Y_2 – водоудерживающая способность (ВУС,%) муки подсолнечной

Как видно из уравнений ЖУС подсолнечной муки в центре плана составляет 101,565%, ВУС – 195,327%, значения коэффициентов при факторах свидетельствуют о различном влиянии длительности обработки (x_2) и температуры воздействия (x_1), повышение температуры термической обработки отрицательно влияет на ЖУС и ВУС а повышение длительности обработки приводит к увеличению ЖУС и уменьшению ВУС о чем свидетельствуют знаки «-» и «+» при первом и втором факторах.

На Рисунке 1 представлены поверхности отклика полученных математических моделей.

Из их анализа следует, что длительность обработки (x_2) несколько сильнее влияет на ЖУС и ВУС подсолнечной муки, чем температура обработки



а) жиродерживающая способность

(x_1), о чем свидетельствуют значения коэффициентов при факторах, межфакторное взаимодействие имеет наименьшее влияние. Коэффициент при смешанном произведении факторов является значимым, что свидетельствует о математической зависимости одного фактора от уровня другого фактора.

Математические модели в виде уравнения регрессии, отражающие зависимости пенообразующей способности и стойкости пены от температуры обработки и продолжительности ее воздействия, имеют следующий вид:

$$Y_3(x_1, x_2) = 18,33 - 3,5x_1 - 0,5x_2 + 5,33x_1x_2,$$

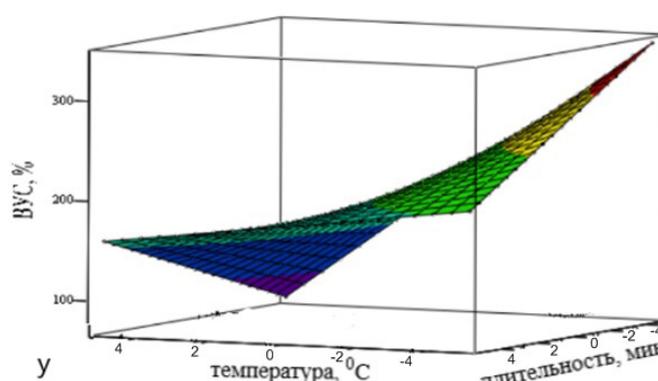
где x_1 - температура обработки,
 x_2 - длительность обработки,
 Y_3 - пенообразующая способность (ПОС,%) муки подсолнечной

$$Y_4(x_1, x_2) = 76,55 - 4,8x_1 + 1,95x_2 + 6,3x_1x_2,$$

где: x_1 - температура обработки,
 x_2 - длительность обработки,
 Y_4 – стойкость пены (СП,%) муки подсолнечной

На Рисунке 2 представлены поверхности отклика полученных моделей, отражающих зависимости пенообразующей способности и стойкости пены подсолнечной муки от основных параметров технологической обработки.

Из анализа поверхности отклика на рисунке 2 следует, что пенообразующая способность в центре плана составляет 18,33%, а стойкость пены – 76,55%, температура обработки (x_1) сильнее влияет на ПС и СП



б) водоудерживающая способность

Рисунок 1. Влияние основных параметров технологической обработки на жиродерживающую и водоудерживающую способности подсолнечной муки

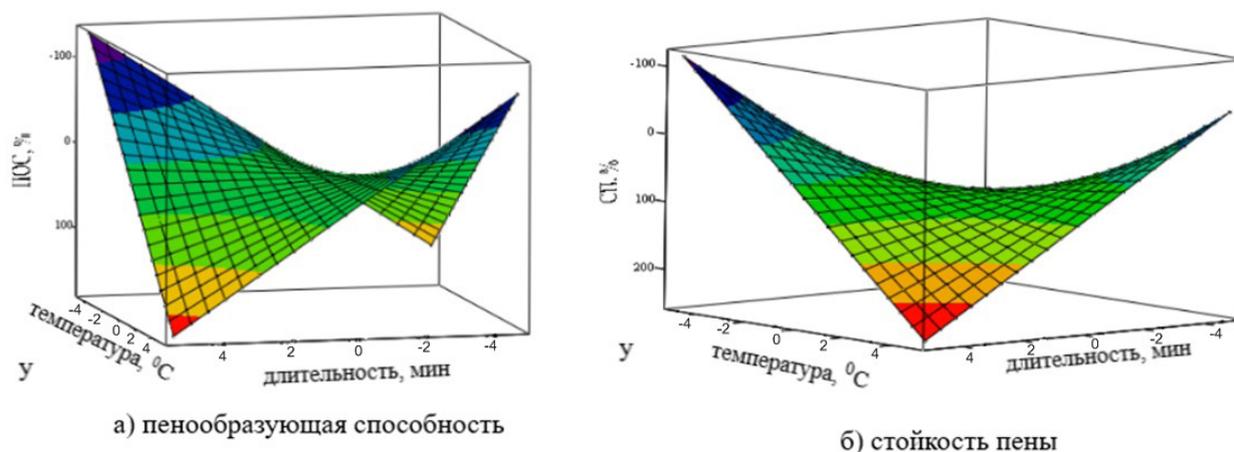


Рисунок 2. Влияние основных параметров технологической обработки на пенообразующую способность и стойкость пены подсолнечной муки

подсолнечной муки, чем длительность обработки (x_2), о чем свидетельствуют значения коэффициентов при факторах, межфакторное взаимодействие также оказывает значительное влияние.

Построение графиков при различном сочетании исследуемых факторов и их анализ позволили установить, что оптимальными условиями термической обработки муки подсолнечной являются: температура обработки 60°C и время воздействия 30 мин.

Результаты определения функционально-технологических свойств муки подсолнечной в сравнении с ядром подсолнечника и со жмыхом подсолнечным, произведенными из одной партии заводских смесей семян подсолнечника, представлены в Таблице 1.

Из таблицы следует, что значение показателей ЖУС у муки подсолнечной ниже, чем у ядра подсолнечного и жмыха подсолнечного, однако она обладает более высокими СП, ПОС способностью адсорбировать воду.

В целом функционально-технологические показатели муки подсолнечной соответствуют современным требованиям пищевой промышленности.

Ядро подсолнечника превышает муку подсолнечную по показателям сорбционных (ВУС, ЖУС и поверхностно-активных ($K_{СП}$, ПОС Кпос) свойств, в то же время, использование муки в производстве продуктов питания технологически проще и экономически выгодней, что делает актуальным дальнейшее исследование подсолнечной муки и улучшение ее свойств.

Обработка результатов демонстрирует, что при идентичных условиях постановки эксперимента образцы муки подсолнечной из разных партий и от разных производителей показывают равные значения функционально-технологических свойств, что говорит о схожем содержании в них массовой доли белка и других химических компонентов. В то же время следует отметить, что их характеристики ниже значений, приводимых в научной литературе (Ширококорядова, Минакова, Щербаков, Логунова, 2008, с. 23–24; Минакова, Щербаков, Ширококорядов, 2007, с. 9–10; Степура, 2006; Grasso, Liu, Methven, 2020, p. 108–893; Grasso, Omoarukhe, Wen, Papoutsis, Methven, 2019, p. 305; Lin, Humbert, Sosulski, 1974, p. 368–370; Pickardt, Hager, Eisner, Carle, Kammerer, 2011, p. 31–44) для изолированных белков, применяемых в пищевой промышленности. Однако спо-

Таблица 1
Функционально-технологические свойства подсолнечника и продуктов его переработки

Сырье	Функциональные свойства продуктов, %					
	ВУС	ЖУС	ПОС	КПОС	СП	КСП
Ядро подсолнечника	15	215	7,4	15,4	72	0,8
Жмых подсолнечный	189	150	22	46,1	43	0,47
Мука подсолнечная	215	104	28	58,7	85	0,93

способность белков удерживать воду и жир зависит не только от их содержания в системе и особенностей фракционного и аминокислотного состава, но и от качественного состава и соотношения небелковых компонентов системы. Мука из подсолнечного жмыха является многофункциональной системой с высоким содержанием жира, что заметно снижает функционально-технологические характеристики белков. Получение из жмыха белкового концентрата позволит улучшить функционально-технологические свойства, но одновременно приведет к существенному снижению его пищевой ценности за счет потери токоферолов и полиненасыщенных жирных кислот, что является нецелесообразным (Щетинин, Фролова, 2013, с. 156–160).

При производстве большинства продуктов эмульсионной структуры технологические схемы предполагают нагревание и выдерживание смеси при заданной температуре. В связи с этим, можно рекомендовать внесение муки подсолнечной в рецептуры таких продуктов, в которых улучшение технологических свойств достигается за счет связывания жира и воды. Высокие потребительские свойства полученной муки подсолнечной делают актуальным исследование возможности ее использования для производства ряда кондитерских изделий.

Выводы

В ходе работы проведены исследования функционально-технологических свойств полученной подсолнечной муки, на основании результатов которых можно рекомендовать ее применение в кондитерских изделиях с эмульсионной структурой, что позволяет развить существующие технологии производства и расширить ассортимент готовой продукции.

При выполнении исследований поставлены двух- и трехфакторные эксперименты. Для выявления влияния отдельных факторов на функцию отклика использован дисперсионный анализ как метод математической статистики, получены математические модели в виде уравнений регрессии с удовлетворительным уровнем аппроксимации, описывающие зависимости жироудерживающей, влагоудерживающей и пенообразующей способностей, а также стойкости пены подсолнечной муки от температуры обработки и продолжительности ее воздействия.

Анализ полученных данных позволил установить оптимальные условия термической обработки муки: температура обработки 60°C и время воз-

действия 30 мин., обеспечивающие улучшение органолептических показателей и уменьшение ее влажности.

Подсолнечная мука является перспективным сырьевым компонентом, предоставляющим обширные возможности для изготовления с ее применением композиций требуемого состава и добавления в рецептуры для повышения пищевой и биологической ценности продуктов питания.

Благодарности

Работа выполнена в рамках госзадания Минобрнауки РФ (государственное задание № 075–00316–20–01 от 21.02.2020; мнемокод 0611–2020–013; номер темы F.M.-2020–0013).

Литература

- Березина Н.А., Артёмов А.В., Хмельёва Е.В., Никитин И.А. Моделирование и оптимизация рецептуры хлебобулочных изделий повышенной биологической ценности // *Хлебопродукты*. 2019. № 9. с. 60–63. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2019-31-9-60-63>
- Бычкова Е.С., Рождественская Л.Н., Погорова В.Д., Госман Д.В., Бычков А.Л. Технологические особенности и перспективы использования растительных белков в индустрии питания. Часть 2. Способ снижения антипитательных свойств растительного сырья // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2018. № 3. с. 46–54. <https://doi.org/10.36107/spfp.2018.19>
- Василенко В.Н., Фролова Л.Н., Дерканосова А.А., Михайлова Н.А., Щепкина А.А., Давыдов А.М. Математическое обеспечение процесса экстрадирования аномально-вязких сред методами планирования эксперимента // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 2018. № 3(80). с. 37–42. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-3-37-42>
- Воронова Н.С., Бередин Л.С. Сравнительная характеристика функционально-технологических продуктов переработки семян льна // *Молодой ученый*. 2016. № 21(125). с. 114–117.
- Минакова А.Д., Щербаков В.Г., Ширококорядов О.В. Сравнительная характеристика функциональных свойств белковых концентратов из семян подсолнечника // *Известия вузов, пищевая технология*. 2007. № 2. с. 9–10.
- Николаев С.И., Карапетян А.К., Чеханова С.В., Липова Е.А., Брюшно О.Ю., Шерстюгина М.А., Зелянов Е.В. Сравнительный анализ химиче-

- ского состава продуктов переработки семян масличных культур // Научный журнал КубГАУ. 2016. № 118. с. 1293–1303.
- Огнева О.А., Николаенко Е.В. Разработка рецептур и технологии фруктовых жележных десертов // Молодой ученый. 2015. № 5–1(85). с. 32–35.
- Писарева Е.В. Исследование стабилизационных свойств ржаного наполнителя для молочных продуктов // Вестник Алтайской науки. 2015. № 1(23). с. 460–464.
- Покровский А.А. Биохимические основания разработки продуктов повышенной биологической ценности // Вопросы питания. 1964. № 1. с. 3–15.
- Рензьева Т.В. Функциональные свойства белковых продуктов из жмыхов рапса и рыжика // Техника и технология пищевых производств. 2009. № 4(15). с. 23–26.
- Степуро М.В. Влияние структурной модификации белков подсолнечника на биологическую ценность и функциональные свойства получаемых на их основе высокобелковых пищевых продуктов: дис. ... канд. технич. наук: 03.00.04: утв. 18.05.2006. Краснодар, 2006. 158 с.
- Хабибулина Н.В., Гордиенко М.Г., Шишова Е.С., Дмитриева Ю.А. Изучение влияния ограниченного протеолиза на пенообразующую способность соевых продуктов // Ceteris Paribus. 2015. № 2. с. 5–7.
- Толстогузов В.Б. Новые формы белковой пищи: технологические проблемы и перспективы производства. М.: Агропромиздат, 1987. 303 с.
- Широкорядова О.В., Минакова А.Д., Щербаков В.Г., Логунова О.В. Биохимические особенности белковых фракций из семян подсолнечника // Известия вузов. Пищевая технология. 2008. № 1. с. 23–24.
- Щеколдина Т.В. Технологии получения белкосо-держашего сырья из продуктов переработки семян подсолнечника // Научный журнал КубГАУ. 2015. № 5(109). с. 360–378.
- Щербаков В.Г., Лобанов В.Г., Минакова А.Д. Белки масличных семян: монография. Краснодар: Изд. КубГТУ, 2010. 185 с.
- Щетинин М.П., Фролова А.Е., Мелёшкина Л.Е. Влияние режимов термической обработки на физико-химические показатели муки подсолнечной // Grand Altai Research & Education. 2014. № 1. с. 129–132.
- Щетинин М.П., Фролова А.Е. Изучение функционально-технологических свойств сырья растительного и животного происхождения при разработке рецептур кондитерских изделий // Ползуновский вестник. 2013. № 4–4. с. 156–160.
- Grasso S., Liu S., Methven L. Quality of muffins enriched with upcycled defatted sunflower seed flour // L.T.- Food Science and Technology. 2020. Vol. 119. P. 108–893. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108893>
- Grasso S., Omoarukhe E., Wen X., Papoutsis K., Methven L. The use of upcycled defatted sunflower seed flour as a functional ingredient in biscuits // Foods. 2019. Vol. 8, issue 8. P. 305. <https://doi.org/10.3390/foods8080305>
- Lin M.J.Y., Humbert E.S., Sosulski F.W. Certain functional properties of sunflower meal products // Journal of Food Science. 1974. Vol. 39, issue 2. P. 368–370. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1974.tb02896.x>
- Pickardt C., Hager T., Eisner P., Carle R., Kammerer D. Isoelectric protein precipitation from mild-acidic extracts of de-oiled sunflower (*Helianthus annuus* L.) press cake // European Food Research and Technology. 2011. Vol. 233, issue 1. P. 31–44. <https://doi.org/10.1007/s00217-011-1489-6>
- Arrutia F., Binner E., Williams P., Waldron K.W. Oilseeds beyond oil: Press cakes and meals supplying global protein requirements // Trends in Food Science & Technology. 2020. Vol. 100. P. 88–102. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.044>
- Vyakhaya D.J., Parvez R. Evaluation of the quality and sensory attributes of chocolate under different trials // The Pharma Innovation Journal. 2019. Vol. 8, issue 5. P. 729–733. <https://www.thepharmajournal.com/archives/2019/vol8issue5/PartL/8-5-152-806.pdf> (дата обращения: 10.08.2020).

Functional and Technological Properties of Sunflower Flour

Alexandra E. Frolova

*Polzunov Altai State Technical University
46, Lenin Ave., Barnaul, 656038, Russian Federation
E-mail: frolova_ae@mail.ru*

Mikhail P. Shchetinin

*Moscow State University of Food Production
11, Volokolamsk highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: shchetininmikhail@mgupp.ru
Polzunov Altai State Technical University
46, Lenin Ave., Barnaul, 656038, Russian Federation
E-mail: ish1955@mail.ru*

The aim of this work is to study the functional and technological properties of sunflower flour, which can be used to enrich and create the necessary structure of food products. Based on analysis of variance derived mathematical models describing the dependence of fat-retaining, water-retaining and foaming capabilities, as well as the stability of sunflower flour foam on the processing temperature and the duration of its exposure. It has been established that the optimal conditions for the heat treatment of flour are the processing temperature - 60 ° C, the exposure time - 30 minutes, while improving the organoleptic characteristics and reducing its moisture content. Laboratory studies were carried out on the indicators of sorption and surface-active properties of flour in comparison with the kernel and sunflower cake, which showed that the fat-holding capacity of flour is lower than that of the kernel and sunflower cake, but it has higher indicators of foam stability, foaming ability and ability to adsorb water. The use of flour in food production is more technologically expedient and economically profitable with use for these purposes and sunflower kernel meal. The results of studies on the use of the developed product for various technological purposes can be used in the development of formulations of various food products, including fortified ones.

Keywords: sunflower flour; secondary resources of plant materials; food enrichment; functional and technological properties

References

- Berezina N.A., Artemov A.V., Khmeleva E.V., Nikitin I.A. Modelirovanie i optimizatsiya retseptury khlebobulochnykh izdelii povyshennoi biologicheskoi tsennosti [Modeling and optimization of the formulation of bakery products of high biological value]. *Khleboprodukty [Bread products]*, 2019, no. 9, pp. 60–63. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2019-31-9-60-63>
- Bychkova E.S., Rozhdestvenskaya L.N., Pogorova V.D., Gosman D.V., Bychkov A.L. Tekhnologicheskie osobennosti i perspektivy ispol'zovanie rastitel'nykh belkov v industrii pitaniya. Chast' 2. Sposob snizheniya antipitatel'nykh svoystv rastitel'nogo syr'ya [Technological features and prospects for the use of plant proteins in the nutrition industry. Part 2. A way to reduce the anti-nutritional properties of plant materials]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya [Storage and processing of farm products]*, 2018, no. 3, pp. 46–54. <https://doi.org/10.36107/spfp.2018.19>
- Vasilenko V.N., Frolova L.N., Derkanosova A.A., Mikhailova N.A., Shchepkina A.A., Davydov A.M. Matematicheskoe obespechenie protsessa ekstrudirovaniya anomal'no-vyazkikh sred metodami planirovaniya eksperimenta [Software for the extrusion of anomalously viscous media by experimental design methods]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii [Bulletin of the Voronezh State University of Engineering Technology]*, 2018, no. 3(80), pp. 37–42. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-3-37-42>
- Voronova N.S., Beredin L.S. Sravnitel'naya kharakteristika funktsional'no-tekhnologicheskikh produktov pererabotki semyan l'na [Comparative characteristics of the functional and technological products of the processing of flax seeds]. *Molodoi uchenyi [Young scientist]*, 2016, no. 21(125), pp. 114–117.
- Minakova A.D., Shcherbakov V.G., Shirokoryadova O.V. Sravnitel'naya kharakteristika funktsional'nykh svoystv belkovykh kontsentratov iz semyan pod-

- solnechnika [Comparative characteristics of the functional properties of protein concentrates from sunflower seeds]. *Izvestiya vuzov Pishcheyaya tekhnologiya [University news Food technology]*, 2007, no. 2, pp. 9–10.
- Minakova A.D., Shcherbakov V.G., Shirokoryadov O.V. Sravnitel'naya kharakteristika funktsional'nykh svoystv belkovykh kontsentratov iz semyan podsolnechnika [Comparative characteristics of the functional properties of protein concentrates from sunflower seeds]. *Izvestiya vuzov, pishcheyaya tekhnologiya [University news Food technology]*, 2007, no. 2, pp. 9–10.
- Nikolaev S.I., Karapetyan A.K., Chekhanova S.V., Lipova E.A., Bryukhno O.Y., Sherstyugina M.A., Zelyanov E.V. Sravnitel'nyi analiz khimicheskogo sostava produktov pererabotki semyan maslichnykh kul'tur [Comparative analysis of the chemical composition of oilseed processing products]. *Nauchnyi zhurnal KubGAU [Scientific journal KubSAU]*, 2016, no. 118, pp. 1293–1303.
- Ogneva O.A., Nikolaenko E.V. Razrabotka retseptur i tekhnologii fruktovykh zheleinykh desertov [Development of recipes and technology for fruit jelly desserts]. *Molodoi uchenyi [Young scientist]*, 2015, no. 5–1(85), pp. 32–35.
- Pisareva E.V. Issledovanie stabilizatsionnykh svoystv rzhanogo napolnitelya dlya molochnykh produktov [Investigation of the stabilization properties of rye filler for dairy products]. *Vestnik Altaiskoi nauki [Bulletin of Altai Science]*, 2015, no. 1(23), pp. 460–464.
- Pokrovskii A.A. Biokhimicheskie osnovaniya razrabotki produktov povyshennoi biologicheskoi tsennosti [Biochemical basis for the development of products of increased biological value]. *Voprosy pitaniya [Nutrition Issues]*, 1964, no. 1, pp. 3–15.
- Renzyaeva T.V. Funktsional'nye svoystva belkovykh produktov iz zhmykhov rapsa i ryzhika [Functional properties of protein products from rapeseed and camelina cakes]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv [Technics and technology of food production]*, 2009, no. 4(15), pp. 23–26.
- Rukovodstvo po metodam issledovaniya, tekhnologicheskomu kontrolyu i uchetu proizvodstva v maslo-zhirovoy promyshlennosti [Guide to research methods, technological control and accounting of production in the oil and fat industry]. Leningrad: Izd-vo V.I.Zh, 1967. Vol. 1, part. 1–2. 1024 p.
- Stepuro M.V. Vliyanie strukturnoi modifikatsii belkov podsolnechnika na biologicheskuyu tsennost' i funktsional'nye svoystva poluchaemykh na ikh osnove vysokobelkovykh pishchevykh produktov. Dis. kand. tekhnich. nauk [The effect of structural modification of sunflower proteins on the biological value and functional properties of high-protein foods obtained on their basis. Ph.D. Sci. (Technical) thesis]. Krasnodar, 2006. 158 p.
- Khabibulina N.V., Gordienko M.G., Shishova E.S., Dmitrieva Yu.A. Izuchenie vliyaniya ogranichenogo proteoliza na penoobrazuyushchuyu sposobnost' soevykh produktov [Study of the effect of limited proteolysis on the foaming ability of soy products]. *Ceteris Paribus*, 2015, no. 2, pp. 5–7.
- Tolstoguzov V.B. Novye formy belkovoii pishchi: tekhnologicheskie problemy i perspektivy proizvodstva [New forms of protein food: technological problems and production prospects]. Moscow: Agropromizdat, 1987. 303 p.
- Shirokoryadova O.V., Minakova A.D., Shcherbakov V.G., Logunova O.V. Biokhimicheskie osobennosti belkovykh fraktsii iz semyan podsolnechnika [Biochemical features of protein fractions from sunflower seeds]. *Izvestiya vuzov Pishcheyaya tekhnologiya [University news Food technology]*, 2008, no. 1, pp. 23–24.
- Shchekoldina T.V. Tekhnologii polucheniya belkosoderzhashchego syr'ya iz produktov pererabotki semyan podsolnechnika [Technologies for the production of protein-containing raw materials from processed products of sunflower seeds]. *Nauchnyi zhurnal KubGAU [Scientific journal KubSAU]*, 2015, no. 5(109), pp. 360–378.
- Shcherbakov V.G., Lobanov V.G., Minakova A.D. Belki maslichnykh semyan [Proteins of oilseeds]. Krasnodar: Izd. KubGTU, 2010. 185 s.
- Shchetinin M.P., Frolova A.E., Meleshkina L.E. Vliyanie rezhimov termicheskoi obrabotki na fiziko-khimicheskie pokazateli muki podsolnechnoi [The effect of heat treatment on the physico-chemical parameters of sunflower flour]. *Grand Altai Research & Education*, 2014, no. 1, pp. 129–132.
- Shchetinin M.P., Frolova A.E. Izuchenie funktsional'no-tekhnologicheskikh svoystv syr'ya rastitel'nogo i zhivotnogo proiskhozhdeniya pri razrabotke retseptur konditerskikh izdelii [The study of the functional and technological properties of raw materials of plant and animal origin in the development of recipes for confectionery]. *Polzunovskii vestnik [Polzunovsky Bulletin]*, 2013, no. 4–4, pp. 156–160.
- Grasso S., Liu S., Methven L. Quality of Muffins Enriched with Upcycled Defatted Sunflower Seed Flour. *L.T.- Food Science and Technology*, 2020, vol. 119, pp. 108–893. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108893>
- Grasso S., Omoarukhe E., Wen X., Papoutsis K., Methven L. The Use of Upcycled Defatted Sunflower Seed Flour as a Functional Ingredient in Biscuits. *Foods*, 2019, vol. 8, issue 8, pp. 305. <https://doi.org/10.3390/foods8080305>

- Lin M.J.Y., Humbert E.S., Sosulski F.W. Certain Functional Properties of Sunflower Meal Products. *Journal of Food Science*. 1974, vol. 39, issue 2, pp. 368–370. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1974.tb02896.x>
- Pickardt C., Hager T., Eisner P., Carle R., Kammerer D. Isoelectric Protein Precipitation from Mild-Acidic Extracts of De-Oiled Sunflower (*Helianthus Annuus* L.) Press Cake. *European Food Research and Technology*, 2011, vol. 233, no.1, pp. 31–44. <https://doi.org/10.1007/s00217-011-1489-6>
- Arrutia F., Binner E., Williams P., Waldron K.W. Oilseeds Beyond Oil: Press Cakes and Meals Supplying Global Protein Requirements. *Trends in Food Science & Technology*, 2020, vol. 100, pp. 88–102. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.044>
- Vyakhaya D.J., Parvez R. Evaluation of the Quality And Sensory Attributes Of Chocolate Under Different Trials. *The Pharma Innovation Journal*, 2019, vol. 8, issue 5, pp. 729–733. <https://www.thepharmajournal.com/archives/2019/vol8issue5/PartL/8-5-152-806.pdf> (accessed 10.08.2020).

Ветеринарно-санитарная экспертиза омуля (*Coregonus Autumnalis* (Pallas, 1776)), выловленного в период нагула и нерестовой миграции в бассейне реки Лена в сравнительном аспекте

Татарина Зинаида Гавриловна

Арктический государственный агротехнологический университет

Адрес: 677007, г. Якутск, ул. Сергеляхское шоссе 3 км, д. 3

E-mail: zina.tatarinova.2014@mail.ru

Степанов Константин Максимович

Арктический государственный агротехнологический университет

Адрес: 677007, г. Якутск, ул. Сергеляхское шоссе 3 км, д. 3

E-mail: Stenko07@mail.ru

Платонов Терентий Афанасьевич

Арктический государственный агротехнологический университет

Адрес: 677007, г. Якутск, ул. Сергеляхское шоссе 3 км, д. 3

E-mail: platonof74@mail.ru

В статье рассмотрена ветеринарно-санитарная оценка качества арктического (ледовитоморского) омуля *Coregonus autumnalis* (Pallas, 1776), выловленного в период нагула в море Лаптевых, п. Таймылыр и добытого в период нерестовой миграции в бассейне реки Лена, вблизи п. Кюсюр Булунского улуса Республики Саха (Якутия) в сравнительном анализе. При внешнем осмотре определены органолептические показатели: состояние чешуи, ротовой полости, состояние глаз и роговицы, жабр (цвет), запах рыб, состояние плавников, консистенция мышц, состояние брюшной полости, внутренних органов, определено качество бульона при пробе варки (прозрачность и аромат). Физико-химические параметры проб мяса рыб определены по значению pH, реакции на пероксидазу, содержанию аминокислотного азота, реакции на серноокислую медь, реакции на свободный аммиак (проба Эбера). Проведены бактериоскопические исследования рыб на свежесть, определены микробиологические показатели: количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), бактерий группы кишечной палочки (коли-формы), стафилококк (*S. aureus*), патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы. Паразитологическое исследование рыб проведено методом пластования с соответствием с нормативными документами. Определены параметры арктического омуля разных мест улова по промысловой длине, высоте тела, длине головы, массе тушки рыб. По результатам ветеринарно-санитарного исследования установлено, арктический омуль Булунского района по органолептическим, физико-химическим, бактериоскопическим, микробиологическим и паразитологическим показателям относится к свежим, доброкачественным рыбам и подлежит свободной реализации в торговую сеть для населения. Данные исследования показали, арктический омуль, выловленный в море Лаптевых, п. Таймылыр Булунского района по параметрам - длина, высота тела, длина головы, масса превышает размеры омуля, добытого в бассейне реки Лена, п. Кюсюр.

Ключевые слова: арктический омуль, ветеринарно-санитарная экспертиза, качество, бактериоскопия, микробиология, паразитарная чистота.

Введение

Обеспечение населения страны продовольствием является основной народнохозяйственной задачей. Рыба и рыбопродукты, обладая исклю-

чительно высокими пищевыми качествами, являются одним из источников пищи, широко используются в повседневном рационе, диетическом, детском питании и составляют около 20 % в общем балансе потребляемых в России животных

белков¹. Рыболовство играет важную роль в обеспечении питанием населения и в международной торговле (Долганова, Нохрина, 2019 с. 50-52).

Арктический омуль, семейства сиговых отличается высокими вкусовыми качествами и является одним из видов рыб, пользующихся повышенным спросом среди местного населения. Сиговые рыбы Якутии имеют высокое содержание мононенасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот, соотношение которых к насыщенным жирным кислотам составляет в филе от 1,0 : 0,22 до 1,0 : 0,32, в брюшной части от 1,0 : 0,24 до 1,0 : 0,28, что свидетельствует о высокой биологической ценности жиров (Васильева, Ефимова, Матвеев, Тимофеев, 2018, с. 64-66). Омуль содержит большое количество незаменимыми и заменимыми аминокислотами, которые хорошо усваиваются организмом человека (Васильева, Ефимова, Слепцова, Тимофеев, 2019, с. 127-132).

Но так как в организме живых рыб содержится много эндогенных ферментов и психрофильных бактерий, рыбные продукты легко подвергается процессам порчи, что снижает их питательную ценность (Позняковский, 2007).

Психрофильные микроорганизмы, способные расти и накапливаться при низких температурах (от 0 до -9°C), вызывая гнилостное разложение. К факторам, способствующим развитию порчи, относятся также: рыхлая структура мышечной ткани и значительное содержание в ней воды, низкий уровень гликогена, преобладание в жире непредельных жирных кислот, наличие слизи на поверхности тела, которая служит благоприятной средой для роста микроорганизмов, высокая активность кишечных ферментов. Поэтому важно, чтобы рыба была свежей и доброкачественной, особенно в районах, где осуществляется рыболовство и последующая реализация (Долганова, Нохрина, 2019, с. 131-139).

Антропогенное загрязнение водной среды промышленными и бытовыми отходами может негативно воздействовать на качество рыбной продукции и, в итоге, это отражается на здоровье человека (Тяптиргянов, 2015, с. 111-114; Маркова, 2012). Так, среднее содержание свинца в мясе омуля низовий бассейна р. Лена 0.230 ± 0.002 мг/кг (филе) и 0.098 ± 0.002 (теща), тогда как в мясе омуля индигирской популяции почти в четыре раза больше – 0.952 ± 0.001 (филе) и 0.913 ± 0.001 (теща)

(Попова, Абрамов, 2019, с. 86-94; Попова, Макарова, 2008, с. 65-66).

У сиговых рыб Лены отмечаются заболевания, вызываемые микроспоридиями (бугорковая, или язвенная болезнь, хлоромикоз, или желтуха сиговых), моногенными (тетраонхоз), цестодами (протоцефалез и дифиллоботриоз), нематодами (цистидикалез), скребнями (ехиноринхоз и неохиноринхоз), паразитическими рачками (лернеоз) (Платонов, 2007, с. 69-72; Платонов, Кузьмина, 2011, с. 68-69; Копосов, 2015, с. 22-30).

В низовьях рыбопромысловых рек Якутии наблюдается природный очаг лентеца чаечного, на что указывает высокая степень зараженности указанным заболеванием местного населения. При этом основным фактором передачи инвазионного начала выступает традиционное употребление в пищу недостаточно обеззараженной соленой рыбы (Кокколова, Платонов, 2015, с. 79-81).

Якутия богата водными ресурсами, на ее территории насчитывается более 300 тыс. рек и почти 700 тыс. озер, где обитают 48 пресноводных видов с подвидами рыб, из которых промысловое значение имеют 20 видов рыб. Главная река края – Лена с ее притоками Олекма, Алдан, Вилюй. Крупными реками являются Анабар, Оленек, Яна, Индигирка, Колыма. Озера сосредоточены в основном на низменных равнинах северной и центральной Якутии (Абрамов, Салова, Степанов, Васильева, Ефимова, Слепцова, Платонов, Матвеев, Тимофеев, 2018).

Основу ихтиофауны Арктического побережья Сибири по числу видов рыб и их численности составляют наиболее приспособленные к обитанию в условиях водоёмов рыбы семейства сиговых, главный из них арктический (ледовитоморской) омуль *Coregonus autumnalis* (Pallas, 1776). Этот вид является полупроходной рыбой и в прилегающие реки заходит из побережья зоны Северного Ледовитого океана только на нерест и зимовку (Попов, 2015, с. 107-126; Попов, 2009, с. 451-463; Черешнев, 2002, с. 95-106; Кириллов, 2002; Кириллов, 2014, с. 31-38; Кириллов, 2015, с. 75-81).

Весной и летом полоса приморского обитания арктического омуля довольно обширная и совпадает с границей материкового шельфа, примерно до глубины 20 метров. Осенью в связи с уменьшением стока речных вод и повышением солености участок обитания омуля ограничивается узкой

¹ Рязанова О.А., Дацун В.М., Позняковский В.М. Экспертиза рыбы, рыбопродуктов и нерыбных объектов водного промысла. Качество и безопасность: учебник / под общ. ред. В.М. Позняковского. Санкт-Петербург: Лань, 2016. 572 с.

прибрежной полосой, заливами, бухтами. Зимой омуль почти полностью перемещается в дельты рек. Для размножения половозрелые особи заходят в реки примерно с середины июня и начинают подниматься по ним, обычно до участков их средних течений, иногда на 1000 и более км, но верхний рек не достигают.

В Якутии, в разных водоемах, омуль образует популяции, имеющие заметные морфологические и физиологические различия. Окраска омуля светлая, спина темно-серая, бока тела и брюшко серебристо-белые, плавники темно-серого цвета. В Якутии длины тела омуля достигает 60 см, массы тела 2100 г. Обычная длина тела половозрелых особей – 35-45 см, масса – 500-1500 г. Половой зрелости омуль достигает в 6-7-летнем возрасте при длине тела около 35 см, живет до 20 лет. Нерест у особей омуля не ежегодный, за свою жизнь самка нерестится всего 2-3 раза. Нерест происходит во второй половине сентября-октябре на песчано-галечном грунте в глуби. Плодовитость – 16-67 тысяч икринок. Питается омуль бентосными и планктонными беспозвоночными и молодью рыб. Основу питания в зоне моря составляют ракообразные, мизиды, ручейники, комары. В реках основу питания составляют молодь рыбы, личинки стрекоз, веснянки и др. Мальки омуля питаются в основном хирономидами, циклопами, дафниями, мошками, комарами и другим зоопланктоном (Абрамов, Салова, Степанов, Васильева, Ефимова, Слепцова, Платонов, Матвеев, Тимофеев, 2018).

Омуль является одной из основных промысловых рыб рек Якутии. Издавна местное население занималось ловлей омуля, заготавливая его впрок в виде юколы. Ловят рыбу во время хода на нерест неводами, ставными и сплавными сетями.

Основание для проведения исследований

Омуль арктический является одним из самых ценных в пищевом плане промысловых рыб, имея высокую жирность и питательную ценность, легко усваивается организмом человека. Рацион питания населения республики, особенно северных районов в основном состоит из рыбы и рыбопродуктов, поэтому обеспечение населения качественной и безопасной рыбной продукцией является весьма актуальной.

Материалы и методы исследования

Объект исследования

Проведена ветеринарно-санитарная экспертиза 15 экземпляров свежемороженого омуля моря Лаптевых, п. Таймылыр Булунского улуса Республики Саха (Якутия) и свежемороженого омуля, выловленного в бассейне реки Лена, п. Кюсюр. Рыба выловлена в осенний период, в октябре месяце маломерными судами, оборудованными сплавными сетями. Для паразитологических исследований вскрыты 15 экз. рыб, выловленных в период нагула в дельтовом участке реки и 15 экз. в период нерестовой миграции. Для исследования от партии улова отобраны образцы речного омуля, средние параметры которых составляют: промысловая длина – 44 см, длина головы – 8,5 см, высота тела – 16,5 см, масса рыб – 850 г. Средние параметры морского омуля составляют: длина – 48 см, длина головы – 8,5 см, высота тела – 22 см, масса рыб – 1400 г.

Методы и процедура исследования

Ветеринарно-санитарная экспертиза рыб по показателям качества проведена на 7-10 день после улова на кафедре ветеринарно-санитарной экспертизы и гигиены факультета ветеринарной медицины ФГБОУ ВО «Якутская государственная сельскохозяйственная академия» и в ГБУ РС (Я) «Якутская республиканская ветеринарно-испытательная лаборатория». При отборе проб и проведении органолептических исследований руководствовались ГОСТ 7631-2008². Физико-химические показатели рыб: значение pH, реакция на пероксидазу, содержание аминокислотного азота, реакция на сернокислую медь, реакция на свободный аммиак (проба Эбера) определяли в соответствии с правилами ветеринарно-санитарной экспертизы рыб (Миктюк, 1989). Бактериальная обсемененность рыб проведена бактериоскопическим методом окраски по Граму мазков-отпечатков с поверхностных слоев мышц, расположенных под кожей рыб по Инструкции³.

Соответствие рыб требованиям биологической безопасности определяли по микробиологическим показателям: количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), наличие бактерий группы

² ГОСТ 7631-2008. Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Методы определения органолептических и физических показателей. М.: Стандартинформ, 2008. 12 с.

³ Сазонова А.С., Мухина Л.Б., Призренова И.И., Курдина Р.М., Крылов В.А., Чижикова Ю.А., Попова М.А., Ткаченко А.Н., Поздеева Ю.Н., Сенникова С.А., Карцев В.В. Инструкция по санитарно-микробиологическому контролю производства пищевой продукции из рыбы и морских беспозвоночных [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200037371> (дата обращения: 13.08.2020).

кишечной палочки (БГКП), стафилококка (*S. aureus*), патогенных микроорганизмов (протей, синегнойная палочка, сальмонеллы и др.), листерии (*L. monocytogenes*) по ГОСТ 26670-91⁴, технический регламент ТР ЕАЭС 040/2016⁵ и Инструкции.

Для выявления и изучения культуральных характеристик микроорганизмов проводили посев на жидкие питательные среды, с последующим термостатированием в течение суток при 37°C и пересевом на соответствующие твердые питательные среды. При росте характерных колоний изучали морфологические и биохимические свойства микроорганизмов (Долганов, 2005).

Изучены параметры рыб речного и морского омуля по длине тушки, длине головы, высоты тела, массе в сравнительном анализе.

Сбор, фиксация и камеральная обработка паразитологического материала проводились по общепринятой методике⁶. Видовую идентификацию паразитов проводили с использованием определителей: «Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР»^{7,8,9}

Для количественной характеристики зараженности рыб использовались следующие показатели: экстенсивность инвазии (ЭИ) или процент зараженных рыб конкретным видом или группой паразитов, интенсивность инвазии (ИИ) – среднеарифметический показатель числа паразитов, приходящихся на одну зараженную особь хозяина.

Результаты и их обсуждение

Оценка качества свежемороженых рыб проводится после полного размораживания рыб. Результаты органолептических исследований проб рыб представлены в Таблице 1.

При внешнем осмотре определяли состояние чешуи, рта, состояние глаз и роговицы, жабр (цвет), запах, состоянию плавников рыб. После вскрытия

брюшной полости определяли состояние внутренних органов и консистенцию мышц рыб.

Из данных Таблицы 1 видно, при внешнем и внутреннем осмотре экземпляров арктического омуля, выловленных в акватории моря Лаптевых (п. Таймылыр), органолептические показатели соответствуют свежим рыбам. Слегка потускневшая чешуя рыб, местами опавшие плавники, мутноватый бульон со специфическим запахом при варке мышц рыб проб №4, №9, №10, №11 не является отклонением от нормируемых показателей.

Из данных Таблицы 2 видно, при внешнем и внутреннем осмотре экземпляров арктического омуля, выловленного в реке Лена (п. Кюсюр), органолептические показатели соответствуют свежим рыбам. Наличие на жабрах рыб незначительного количества крови темно-красного цвета, слегка мутноватый бульон при варке мышечной ткани проб №6, №7, №15 не является отклонением от нормируемых показателей.

Физико-химические исследования рыб арктического омуля проводили по показателям: определение значения pH; реакция на пероксидазу; определение содержания аминокислотного азота; реакция на сернокислую медь; реакция на свободный аммиак (проба Эбера). Результаты физико-химических исследований представлены в Таблице 3.

По результатам физико-химических исследований арктического омуля, выловленного с моря Лаптевых (п. Таймылыр) установлено, значение показателя pH всех проб рыб находится в пределах нормируемого показателя, реакция на пероксидазу «положительная», вытяжка переходит в бурую окраску в течении 1-2 минут, что соответствует свежим рыбам. Результаты исследования по определению содержания аминокислотного азота, реакции на сернокислую медь, проба Эбера свидетельствует о доброкачественности рыб (Таблица 3).

По результатам физико-химических исследований проб арктического омуля, выловленного в

⁴ ГОСТ 26670-91. Продукты пищевые. Методы культивирования микроорганизмов. М.: Стандартинформ, 2008. 16 с.

⁵ Технический регламент Евразийского экономического союза ТР ЕАЭС «О безопасности рыбы и рыбной продукции» [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420394425> (дата обращения: 13.08.2020).

⁶ Быховская-Павловская И.Е. Паразиты рыб. Руководство по изучению. Л.: Наука, 1985. 120 с.

⁷ Рязанова О.А., Дацун В.М., Позняковский В.М. Экспертиза рыбы, рыбопродуктов и нерыбных объектов водного промысла. Качество и безопасность: учебник / под общ. ред. В.М. Позняковского. Санкт-Петербург: Лань, 2016. 572 с.

⁸ Сазонова А.С., Мухина Л.Б., Призренова И.И., Курдина Р.М., Крылов В.А., Чижикова Ю.А., Попова М.А., Ткаченко А.Н., Поздеева Ю.Н., Сенникова С.А., Карцев В.В. Инструкция по санитарно-микробиологическому контролю производства пищевой продукции из рыбы и морских беспозвоночных [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200037371> (дата обращения: 13.08.2020).

⁹ Технический регламент Евразийского экономического союза ТР ЕАЭС «О безопасности рыбы и рыбной продукции» [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420394425> (дата обращения: 13.08.2020).

Таблица 1

Результаты органолептических исследований арктического омуля, выловленного в море Лаптевых (п. Таймылыр)

№	Показатели	Нормируемые показатели	пробы №2-№3, №5-№8, №12-№15	пробы №4, №9-№11
1.	Чешуя	Гладкая, блестящая, чистая, выдергивается с трудом	Гладкая, блестящая, чистая, выдергивается с трудом	Слегка потускневшая, гладкая, выдергивается с трудом
2.	Рот	Сомкнут	Сомкнут	Открыт
3.	Глаза	Выпуклые, чистые, блестящие, прозрачная роговица	Выпуклые, чистые, блестящие, прозрачная роговица	Выпуклые, чистые, блестящие, прозрачная роговица
4.	Жабры	Жабры темно-красные, слизь тягучая, покрывки плотно прилегают	Темно-красные, слизь тягучая, покрывки плотно прилегают	Темно-красные, слизь тягучая, покрывки плотно прилегают
5.	Запах	без постороннего запаха	без постороннего запаха	без постороннего запаха
6.	Плавники	Цельные, прилегают к телу	Цельные, у основания плавников слизь красноватого цвета	Местами опавшие
7.	Мышцы	Окоченение мышц выражено хорошо, упругой консистенции, рыба на руке не сгибается, мясо с трудом отделяется от костей	Окоченение мышц выражено хорошо, упругой консистенции, рыба на руке не сгибается, мясо с трудом отделяется от костей	Окоченение мышц незначительное, упругой консистенции, рыба на руке не сгибается, мясо с трудом отделяется от костей
8.	Брюшная полость	Влажная с небольшим количеством жидкости, брюшко не вздуто	Влажная с небольшим количеством жидкости, брюшко не вздуто	Влажная с небольшим количеством жидкости, брюшко не вздуто
9.	Внутренние органы	Хорошо различимы внутренние органы, желточное окрашивание вокруг желчного пузыря, менее плотные	Хорошо различимы внутренние органы, плотные	Хорошо различимы внутренние органы, плотные
10.	Бульон при пробе варкой	Прозрачный, на поверхности не много мелких блесток жира с приятным запахом	Прозрачный, на поверхности большие блестки жира с приятным запахом	Слегка мутноватый, на поверхности немного мелких блесток жира со специфическим запахом

Таблица 2

Результаты органолептических исследований арктического омуля, выловленного в реке Лена (п. Кюсюр)

№	Показатели	Нормируемые показатели	пробы №1-№5, №8-№14	пробы №6, №7, №15
1.	Чешуя	Гладкая, блестящая, чистая, выдергивается с трудом	Гладкая, блестящая, чистая, выдергивается с трудом	Гладкая, блестящая, чистая, выдергивается с трудом
2.	Рот	Сомкнут	Сомкнут	Сомкнут
3.	Глаза	Выпуклые, чистые, блестящие, прозрачная роговица	Выпуклые, чистые, блестящие, прозрачная роговица	Выпуклые, чистые, блестящие, прозрачная роговица
4.	Жабры	Жабры темно-красные, слизь тягучая, покрывки плотно прилегают	Темно-красные, слизь тягучая, покрывки плотно прилегают	Темно-красные, слизь тягучая, покрывки плотно прилегают, наличие незначительного количества крови темно-красного цвета
5.	Запах	Без постороннего запаха	Без постороннего запаха	Без постороннего запаха
6.	Плавники	Цельные, прилегают к телу	Цельные, у основания плавников слизь красноватого цвета	Цельные, у основания плавников слизь красноватого цвета
7.	Мышцы	Окоченение мышц выражено хорошо, упругой консистенции, рыба на руке не сгибается, мясо с трудом отделяется от костей	Окоченение мышц выражено хорошо, упругой консистенции, рыба на руке не сгибается, мясо с трудом отделяется от костей	Окоченение мышц незначительное, упругой консистенции, рыба на руке не сгибается, мясо с трудом отделяется от костей

Таблица 2

№	Показатели	Нормируемые показатели	пробы №1-№5, №8-№14	пробы №6, №7, №15
8.	Брюшная полость	Влажная с небольшим количеством жидкости, брюшко не вздуто	Влажная с небольшим количеством жидкости, брюшко не вздуто	Влажная с небольшим количеством жидкости, брюшко не вздуто
9.	Внутренние органы	Хорошо различимы внутренние органы, желточное окрашивание вокруг желчного пузыря, менее плотные	Хорошо различимы внутренние органы, плотные	Хорошо различимы внутренние органы, плотные
10.	Бульон при пробе варкой	Прозрачный, на поверхности немного мелких блесток жира с приятным запахом	Прозрачный, на поверхности большие блестки жира с приятным запахом	Слегка мутноватый, на поверхности немного мелких блесток жира

Таблица 3

Результаты физико-химических исследований арктического омуля, выловленного в море Лаптевых (п. Таймылыр)

Наименование показателей	Норматив	Номера проб арктического омуля
Определение pH	до 6,9	№1 6,76±0,01; №9 6,89±0,12 №2 6,69±0,08; №10 6,64±0,13 №3 6,76±0,01; №11 6,9 ±0,13 №4 6,9 ± 0,13; №12 6,76±0,01 №5 6,75±0,02; №13 6,65±0,02 №6 6,78 ±0,01; №14 6,73±0,04 №7 6,89±0,12; №15 6,82±0,05 №8 6,65±0,12;
Реакция на пероксидазу	«положительная»	«положительная» во всех пробах
Определение содержания амино аммиачного азота	до 0,69	№1 1,56±0,03; №9 1,67±0,08; №2 1,49±0,10; №10 1,64±0,05; №3 1,61±0,02; №11 1,69±0,10; №4 1,66±0,07; №12 1,5 ±0,09; №5 1,58±0,01; №13 1,54±0,05; №6 1,57±0,02; №14 1,65±0,06; №7 1,62±0,03; №15 1,49±0,10 №8 1,57±0,02;
Реакция на сернокислую медь	«отрицательная»	«отрицательная» во всех пробах
Реакция на свободный аммиак (проба Эбера)	«отрицательная»	«отрицательная» во всех пробах

реке Лена (п. Кюсюр), установлено, значение показателя pH в пробах рыб составляет от 6,68±0,11 до 6,89±0,10, что соответствуют значению свежих рыб. Реакция на пероксидазу - «положительная», что характерно для здоровых, свежих рыб. Результаты исследования по определению содержания амино-аммиачного азота, реакции на сернокислую медь, проба Эбера также свидетельствует о свежести рыб (Таблица 4).

Для проведения бактериоскопических исследований сделаны мазки-отпечатки с поверхностных слоев мышц, расположенных под кожей рыб.

По результатам микроскопических исследований установлено, в мазках-отпечатках с поверхностных слоев мышц арктического омуля, выловленного в море Лаптевых (п. Таймылыр) и в реке Лена (п. Кюсюр), обнаружены единичные палочковидные бактерии или микрофлора нет, что характерно для свежих рыб.

Результаты микробиологических исследований мышечной ткани арктического омуля представлены в Таблице 5.

При микробиологическом исследовании проб рыб арктического омуля, выловленного в море Лап-

Таблица 4

Результаты физико-химических исследований арктического омуля, выловленного с реки Лена (п. Кюсюр)

Наименование показателей	Норматив	Номера проб арктического омуля
Определение pH	до 6,9	№1 6,73±0,06; №9 6,79±0,12 №2 6,83±0,04; №10 6,83±0,04 №3 6,81±0,02; №11 6,78 ±0,01 №4 6,76 ± 0,03; №12 6,72±0,07 №5 6,78±0,01; №13 6,68±0,11 №6 6,88 ±0,09; №14 6,77±0,02 №7 6,89±0,10; №15 6,89±0,10 №8 6,81±0,02;
Реакция на пероксидазу	«положительная»	«положительная» во всех пробах
Определение содержания аммиачного азота	до 0,69	№1 1,57±0,01; №9 1,57±0,01; №2 1,61±0,03; №10 1,56±0,02; №3 1,55±0,03; №11 1,59±0,01; №4 1,60±0,02; №12 1,56 ±0,02; №5 1,56±0,02; №13 1,59±0,01; №6 1,63±0,05; №14 1,60±0,02; №7 1,65±0,07; №15 1,63±0,05 №8 1,56±0,02;
Реакция на сернокислую медь	«отрицательная»	«отрицательная» во всех пробах
Реакция на свободный аммиак (проба Эбера)	«отрицательная»	«отрицательная» во всех пробах

Таблица 5

Результаты микробиологических исследований арктического омуля, выловленного в акватории моря Лаптевых (п. Таймылыр) и в реке Лена (п. Кюсюр)

Показатели	по нормативным документам	пробы омуля (п. Таймылыр) пробы №4, №9-№11	пробы омуля (п. Кюсюр) пробы №6, №7, №15
КМАФанМ*	1 x 10 ⁵ не более	№1 1 x 10 ⁵ ; №9 1 x 10 ⁵ №2 2 x 10 ⁴ ; №10 1 x 10 ⁵ №3 роста нет; №11 3 x 10 ⁴ №4 1 x 10 ⁵ ; №12 1 x 10 ⁵ №5 роста нет №13 1 x 10 ⁵ №6 1 x 10 ⁵ ; №14 5 x 10 ⁴ №7 1 x 10 ⁵ ; №15 1 x 10 ⁵ №8 роста нет;	№1 3 x 10 ⁴ ; №9 роста нет №2 роста нет; №10 3 x 10 ⁴ №3 роста нет; №11 1 x 10 ⁵ №4 1 x 10 ⁵ ; №12 роста нет №5 роста нет; №13 1 x 10 ⁵ №6 1 x 10 ⁵ ; №14 3 x 10 ⁴ №7 1 x 10 ⁵ ; №15 1 x 10 ⁵ №8 1 x 10 ⁵ ;
БГКП** (коли-формы)	0,001 г. не более	Не выделены	Не выделены
Стафилококк (S. aureus)	0,01 г. не более	Не выделены	Не выделены
Патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы (Salmonella)	25 г. не допускается	Не выделены	Не выделены
Листериоз (Listeria monocytogenes)	25 г. не допускается	Не выделены	Не выделены

*КМАФанМ - количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов;

**БГКП – бактерии группы кишечной палочки.

тевых (п. Таймылыр) и в реке Лена (п. Кюсюр) установлено, количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФанМ) находится в пределах установленных норм (1×10^5). В исследованных пробах рыб бактерии группы кишечной палочки (коли-формы) в 0,001 г. продукта, стафилококк (*S. aureus*) в 0,01 г. продукта, патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы, листерии в 25 г. продукта не обнаружены.

По результатам паразитологических исследований у омуля, выловленных в дельте Лены в период нагула выявлено 8 видов паразитов, относящихся к 4 классам (Таблица 6). Из числа обнаруженных паразитов опасных для здоровья человека гельминтов не выявлено. Наибольший процент зараженности наблюдается у цестод и скребней со средней ИИ, которые не влияют на товарное качество рыбы. Из паразитов, портящих товарный вид омуля, можно отметить микроспоридии *Hennegua zschokkei* ЭИ которого равна 26,6% с ИИ – 4-12 экз. цист.

У омуля, выловленных в период нерестовой миграции, выявлены 4 вида паразитов – 3 классам (Таблица 7). В отличие от омуля, выловленного на дельте в период нагула, у нерестового омуля в паразитофауне выявлены только гельминты, паразитирующие в рыбе в личиночной стадии *Diphyllobothrium ditremum* и *Raphidascaris acus*, которые локализуются на серозной поверхности кишечника. Так же выявлены микроспоридии

Таблица 6
Паразиты арктического омуля в период нагула на дельте Лены

№	Вид паразита	ЭИ, (%)	ИИ, (минимальная-максимальная)
Микроспоридии			
1	<i>Hennegua zschokkei</i>	26,6	4-12
2	<i>Chloromyxum coregoni</i>	40,0	-
Цестоды			
3	<i>Eubothrium crissum</i>	53,3	3-7
4	<i>Diphyllobothrium ditremum</i>	33,3	1-5
5	<i>Proteocephalus exiguous</i>	26,6	4-12
Нематоды			
6	<i>Raphidascaris acus</i>	40,0	1-4
Скребни			
7	<i>Neoechinrhynchus rutili</i>	53,3	2-6
8	<i>Metechinorhynchus salmjbis</i>	46,6	5-14

Таблица 7
Паразиты арктического омуля в период нерестовой миграции на среднем течении реки Лены (n-15)

№	Вид паразита	ЭИ, (%)	ИИ, (минимальная-максимальная)
Микроспоридии			
1	<i>Hennegua zschokkei</i>	13,3	5-17
2	<i>Chloromyxum coregoni</i>	20,0	-
Цестоды			
3	<i>Diphyllobothrium ditremum</i>	33,3	1-5
Нематоды			
4	<i>Raphidascaris acus</i>	53,3	2-6

Hennegua zschokkei и *Chloromyxum coregoni*. Все полостные гельминты, которые паразитируют у омуля, в имагинальной стадии отсутствуют.

Выводы

При органолептическом исследовании показателей всех экземпляров арктического омуля: состояние чешуи, рта, глаз, жабр, запаха, плавников, мышц, состояния брюшной полости, внутренних органов всех пробы рыб соответствует показателям доброкачественных, свежих рыб. Физико-химические показатели: значение pH, содержание аминоаммиачного азота, реакция на пероксидазу, на сернокислую медь, реакции Эбера мяса омуля всех проб соответствует показателям свежих рыб. Микроскопические исследования мазков-отпечатков свидетельствуют о доброкачественности рыб.

По результатам микробиологических исследований проб мышц всех проб арктического омуля бактериальная обсеменённость находится в пределах нормы, возбудители пищевых токсикоинфекций не обнаружены.

При паразитологическом исследовании арктического омуля Булунского улуса гельминты, имеющих эпидемиологическое значение, не выявлены; установлено поражение рыб гельминтами со средней степенью инвазии. Микроспоридии *Hennegua zschokkei* при более интенсивной инвазии способны существенно снижать товарный вид рыбы.

По результатам ветеринарно-санитарной экспертизы исследованные пробы рыб доброкачественны в ветеринарном отношении и подлежат свободной реализации в торговой сети.

Данные исследования арктического омуля проведены на 7-10 день после улова и могут меняться в зависимости от условий и сроков хранения.

Литература

- Абрамов А.Ф., Салова Т.А., Степанов К.М., Васильева В.Т., Ефимова А.А., Слепцова Т.В., Платонов Т.А., Матвеев Н.А., Тимофеев С.М. Пищевая и биологическая ценность пресноводных рыб рек Якутии: монография. Новосибирск: Изд. АНС «СибАК», 2018. 154 с. <https://doi.org/10.18411/0821-2016-0005-2018>
- Васильева В.Т., Ефимова А.А., Матвеев Н.А., Тимофеев С.М. Жирнокислотный состав сиговых рыб рек Якутии // Рыбное хозяйство. 2018. № 6. С. 64-66.
- Васильева В.Т., Ефимова А.А., Слепцова Т.В., Тимофеев С.М. Аминокислотный скор сиговых рыб Якутии // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2019. № 3 (205). С. 127-132. <https://doi.org/10.25808/08697698.2019.205.3.022>
- Долганов Н.В. Микробиология рыбы и рыбных продуктов. Москва: Мир, 2005. 224 с.
- Долганова С.Г., Нохрина Е.В. Ветеринарно-санитарная экспертиза пресноводной рыбы, реализуемой в г. Иркутске // Аграрный научный журнал. 2019. № 6. С. 50-52. <https://doi.org/10.28983/asj.y2019i6pp50-52>
- Долганова С.Г., Нохрина Е.В. Санитарно-микробиологическая оценка пресноводной рыбы // Вестник Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского. 2019. № 90. С. 131-139.
- Кириллов А.Ф. Промысловые рыбы Якутии. Москва: Научный мир, 2002. 194 с.
- Кириллов А.Ф., Карпова Л.Н., Жирков Ф.Н., Сивцева Л.В., Свешников Ю.А., Венедиктов С.Ю., Апсолихова О.Д. Рыбы шельфа моря Лаптевых: биологическое разнообразие // Байкальский зоологический журнал. 2015. № 1 (16). С. 75-81.
- Кириллов А.Ф., Книжин И.Б., Романов В.И. Обзор рыбообразных и рыб пресных вод бассейнов морей Лаптевых и Восточносибирского // Байкальский зоологический журнал. 2014. № 1 (14). С. 31-38.
- Коколова Л.М., Платонов Т.А. Антропозоонозы инвазионной этиологии промысловых животных и рыб в Республике Саха (Якутия) // Достижения науки и техники АПК. 2015. Т. 29. № 7. С. 79-81.
- Копосов А.Е. Виды сиговых рыб (Coregonidae core, 1872) верхнего и среднего течения реки Колымы // Рыбоводство и рыбное хозяйство. 2015. № 8. С. 22-30.
- Маркова Л.Н. Экологическая оценка речной воды и промысловых рыб бассейна нижней Лены: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08. Новосибирск, 2012. 18 с.
- Миктюк П.В. Ветеринарно-санитарная экспертиза пресноводной рыбы. Москва: Агропромиздат, 1989. 156 с.
- Платонов Т.А. Паразитарные болезни рыб семейства Coregonidae core, 1872 бассейна реки Лены // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2007. № 11 (179). С. 69-72.
- Платонов Т.А., Кузьмина Н.В. Паразитарные заболевания рыб реки Лены и их рыбохозяйственное значение // Достижения науки и техники АПК. 2011. № 5. С. 68-69.
- Позняковский В.И. Экспертиза рыбы и нерыбных объектов водного промысла. Качество и безопасность. Новосибирск: СУИ, 2007. 311 с.
- Попов А.П. Пресноводные рыбы арктического побережья Сибири // Вестник Томского государственного университета. 2015. № 4 (32). С. 107-126.
- Попов П.А. Видовой состав и характер распространения рыб на территории Сибири // Вопросы ихтиологии. 2009. Т. 49. № 4. С. 451-463.
- Попова Н.В., Абрамов А.Ф. Экологическая безопасность и пищевая ценность промысловых сиговых рыб Якутии // Вестник Иркутского государственного аграрного университета имени А.А. Ежевского. 2019. № 93. С. 86-94.
- Попова Н.В., Маркова Л.Н. Комплексная оценка загрязнения воды нижней Лены и качество рыбной продукции // Аграрный вестник Урала. 2008. № 1 (43). С. 65-66.
- Тяптиргянов М.М. Рыбы пресноводных водоемов Якутии: систематика, экология, воздействие антропогенных факторов: автореф. дис. ... докт. биол. наук: 03.00.16. Якутск, 2017. 502 с.
- Тяптиргянов М.М. Современное состояние рыбной части сообщества в водоемах Якутии // Наука и образование. 2015. № 3 (79). С. 111-114.
- Черешнев И.А., Кириллов А.Ф. Рыбообразные и рыбы морских и пресных вод бассейнов морей Лаптевых и Восточносибирского // Вестник Северо-Восточного научного центра Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2007. № 2. С. 95-106.

Veterinary and Sanitary Examination of Omul (*Coregonus Autumnalis* (Pallas, 1776)), Caught During the Feeding Period and Spawning Migration in the Lena River Basin in the Comparative Aspect

Zinaida G. Tatarinova

Arctic State Agrotechnological University
3, Sergelyakhskoe highway 3 km, Yakutsk, 677007, Russian Federation
E-mail: zina.tatarinova.2014@mail.ru

Konstantin M. Stepanov

Arctic State Agrotechnological University
3, Sergelyakhskoe highway 3 km, Yakutsk, 677007, Russian Federation
E-mail: Stenko07@mail.ru

Terenty A. Platonov

Arctic State Agrotechnological University
3, Sergelyakhskoe highway 3 km, Yakutsk, 677007, Russian Federation
E-mail: platonof74@mail.ru

The article considers the veterinary and sanitary assessment of the quality of the Arctic (Arctic Sea) omul *Coregonus autumnalis* (Pallas, 1776), caught during the feeding period from the Laptev Sea, Taimylyr village and extracted during the spawning migration from the Lena river, near the village of Kyusyur Bulunsky ulus of the Republic of Sakha (Yakutia) in a comparative analysis. In the external examination determined by organoleptic indicators: status, scales, mouth, eye condition and cornea of the gills (colour), smell of fish, as fins, the texture of the muscles, condition of the abdominal cavity, of internal organs, determined the quality of the broth when boiling the sample (transparency and flavour). Physical and chemical parameters of fish meat samples were determined by the pH value, reaction to peroxidase, content of aminoammiac nitrogen, reaction to copper sulphate, reaction to free ammonia (Eber's test). Bacterioscopic studies of fish for freshness were carried out, microbiological indicators were determined: Quantity of Mesophilic Aerobic and Facultative Anaerobic Microorganisms (QMAFAnM), *Escherichia coli* (coliform), *Staphylococcus* (*S. aureus*), pathogenic microorganisms, including *Salmonella*. Parasitological studies of fish were carried out by the method of cutting in layers with compliance with regulatory documents. The parameters of the Arctic omul of different places of catch were determined by the fishing length, body height, head length, and mass of the fish carcass. According to the results of the veterinary and sanitary study, it was established that the arctic omul of the Bulunsky region, according to its organoleptic, physicochemical, bacterioscopic, microbiological and parasitological indicators, belongs to fresh, benign fish and is subject to free sale to the trade network for the population. The research data showed that the Arctic omul caught from the Laptev Sea, Taimylyr settlement, Bulunsky district, in terms of the parameters - body length, body length, head length, weight exceeds the size of omul caught from the Lena River, Kyusyur settlement.

Keywords: Arctic cisco, veterinary and sanitary examination, quality, bacterioscopy, microbiology, parasitic purity.

References

- Abramov A.F., Salova T.A., Stepanov K.M., Vasil'eva V.T., Efimova A.A., Slepцова T.V., Platonov T.A., Matveev N.A., Timofeev S.M. Pishchevaya i biologicheskaya cennost' presnovodnyh ryb rek YAkutii: monografiya [Food and biological value of freshwater fish in the rivers of Yakutia: monograph]. Novosibirsk: Izd. ANS «SibAK», 2018, 154 p. <https://doi.org/10.18411/0821-2016-0005-2018>
- Chereshnev I.A., Kirillov A.F. Ryboobraznye i ryby morskikh i presnyh vod bassejnov morej Laptevyyh i Vostochnosibirskogo [Fish-like and fish of ma-

- rine and fresh waters of the Laptev and East Siberian sea basins]. *Vestnik Severo-Vostochnogo nauchnogo centra Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossijskoi akademii nauk* [Bulletin of the North-Eastern scientific center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences], 2007, no. 2, pp. 95-106.
- Dolganov N.V. Mikrobiologiya ryby i rybnyh produktov [Microbiology of fish and fish products]. Moscow: Mir, 2005, 224 p.
- Dolganova S.G., Nohrina E.V. Sanitarno-mikrobiologicheskaya ocenka presnovodnoj ryby [Sanitary and microbiological assessment of freshwater fish]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta imeni A.A. Ezhevskogo* [Bulletin of the Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky], 2019, no. 90, pp. 131-139.
- Dolganova S.G., Nohrina E.V. Veterinarno-sanitarnaya ekspertiza presnovodnoj ryby, realizuemoj v g. Irkutske [Veterinary and sanitary examination of freshwater fish sold in Irkutsk]. *Agrarnyj nauchnyj zhurnal* [Agricultural scientific journal], 2019, no. 6, pp. 50-52. <https://doi.org/10.28983/asj.y2019i6pp50-52>
- Kirillov A.F. Commercial fish of Yakutia [Commercial fish of Yakutia]. Moscow: Nauchny Mir, 2002, 194 p.
- Kirillov A.F., Karpova L.N., ZHirkov F.N., Sivceva L.V., Sveshnikov Y.A., Venediktov S.Y., Apsolihova O.D. Ryby shel'fa morya Laptevyyh: biologicheskoe raznoobrazie [Fish of the Laptev sea shelf: biological diversity]. *Bajkal'skij zoologicheskij zhurnal* [Baikal Zoological journal], 2015, no. 1 (16), pp. 75-81.
- Kirillov A.F., Knizhin I.B., Romanov V.I. Obzor ryboobraznyh i ryb presnyh vod bassejnov morej Laptevyyh i Vostochnosibirskogo [Overview of lampreys and fishes of fresh waters in the basins of the Laptev and East Siberian seas]. *Bajkal'skij zoologicheskij zhurnal* [Baikal zoological journal], 2014, no. 1 (14), pp. 31-38.
- Kokolova L.M., Platonov T.A. Antropozoonozy invazionnoj etiologii promyslovyh zhivotnyh i ryb v Respublike Saha (Yakutiya) [Anthropozoonosis of invasive etiology of commercial animals and fish in the Republic of Sakha (Yakutia)]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology in agriculture], 2015, vol. 29, no. 7, pp. 79-81.
- Koposov A.E. Vidy sigovyh ryb (Soregonidae cope, 1872) verhnego i srednego techeniya reki Kolymy [Whitefish species (Coregonidae cope, 1872) of the upper and middle reaches of the Kolyma river]. *Rybovodstvo i rybnoe hozyajstvo* [Fish farming and fisheries], 2015, no. 8, pp. 22-30.
- Markova L.N. Ekologicheskaya ocenka rechnoj vody i promyslovyh ryb bassejna nizhnej Leny [Ecological assessment of river water and commercial fish in the lower Lena basin. Abstract of PhD Sci. (Biology) thesis]. Novosibirsk, 2012, 18 p.
- Miktyuk P.V. Veterinarno-sanitarnaya ekspertiza presnovodnoj ryby [Veterinary and sanitary examination of freshwater fish]. Moscow: Agropromizdat, 1989, 156 p.
- Platonov T.A. Parazitarnye bolezni ryb semejstva Coregonidae cope, 1872 bassejna reki Leny [Parasitic diseases of fish of the family Coregonidae cope, 1872 Lena river basin]. *Sibirskij vestnik sel'sko-hozyajstvennoj nauki* [Siberian Bulletin of agricultural science], 2007, no. 11 (179), pp. 69-72.
- Platonov T.A., Kuz'mina N.V. Parazitarnye zabolovaniya ryb reki Leny i ih rybohozyajstvennoe znachenie [Parasitic diseases of fishes of the Lena river and their fishery in the]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of science and technology in agriculture], 2011, no. 5. pp. 68-69.
- Popov A.P. Presnovodnye ryby arkticheskogo poberezh'ya Sibiri [Freshwater fish of the Arctic coast of Siberia]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Tomsk state University], 2015, no. 4 (32), pp. 107-126.
- Popov P.A. Vidovoj sostav i karakter rasprostraneniya ryb na territorii Sibiri [Species composition and distribution of fish in Siberia]. *Voprosy ihtologii* [Questions of ichthyology], 2009, T. 49, no. 4, pp. 451-463.
- Popova N.V., Abramov A.F. Ekologicheskaya bezopasnost' i pishchevaya cennost' promyslovyh sigovyh ryb YAKUTII [Ecological safety and nutritional value of commercial whitefish in Yakutia]. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta imeni A.A. Ezhevskogo* [Bulletin of the Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky], 2019, no. 93, pp. 86-94.
- Popova N.V., Markova L.N. Kompleksnaya ocenka zagryazneniya vody nizhnej Leny i kachestvo rybnnoj produkcii [Comprehensive assessment of lower Lena water pollution and quality of fish products]. *Agrarnyj vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2008, no. 1 (43), pp. 65-66.
- Poznyakovskij V.I. Ekspertiza ryby i nerybnyh ob'ektov vodnogo promysla. Kachestvo i bezopasnost' [Examination of fish and non-fish objects of water fishing. Quality and safety]. Novosibirsk: SUI, 2007, 311 p.
- Tyaptirgyanov M.M. Ryby presnovodnyh vodoemov YAKUTII: sistematika, ekologiya, vozdejstvie antropogennyh faktorov: avtoref. dis. dokt. biol. Nauk [Fish of freshwater reservoirs of Yakutia: systematics, ecology, impact of anthropogenic factors. Abstract of Dr. Sci. (Biology)]. Yakutsk, 2017, 502 p.
- Tyaptirgyanov M.M. Sovremennoe sostoyanie rybnnoj chasti soobshchestva v vodoemah YAKUTII [Current state of the fish community in the reser-

- voirs of Yakutia]. *Nauka i obrazovanie* [Science and education], 2015, no. 3 (79), pp. 111-114.
- Vasil'eva V.T., Efimova A.A., Matveev N.A., Timofeev S.M. Zhirnokislотноy sostav sigovyh ryb rek Yakutii [Fatty acid composition of whitefish in the rivers of Yakutia]. *Rybnoe hozyajstvo* [Fish industry], 2018, no. 6, pp. 64-66.
- Vasil'eva V.T., Efimova A.A., Sleptsova T.V., Timofeev S.M. Aminokislотноy skor sigovyh ryb Yakutii [Amino acid score of whitefish in Yakutia]. *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk* [Bulletin of the far Eastern branch of the Russian Academy of Sciences], 2019, no. 3 (205), pp. 127-132. <https://doi.org/10.25808/08697698.2019.205.3.022>

Анализ производственного цикла заварочных отделений хлебопекарных предприятий Республики Беларусь

Акулич Александр Васильевич

Могилевский государственный университет продовольствия
Адрес: 212027, Республика Беларусь, город Могилев, пр-т Шмидта, д. 3
E-mail: mgur@mogilev.by

Самуйленко Татьяна Дмитриевна

Могилевский государственный университет продовольствия
Адрес: 212027, Республика Беларусь, город Могилев, пр-т Шмидта, д. 3
E-mail: TataSam@tut.by

В Республике Беларусь ассортимент и традиционная биотехнология заварных сортов хлеба из ржаной муки и смеси ржаной и пшеничной муки имеют социальную значимость. На хлебопекарных предприятиях Республики Беларусь в традиционной технологии заварных сортов хлеба преимущественно используется сброженная заварка, приготавливаемая в непрерывном режиме. На современном этапе развития хлебопекарной отрасли возникла проблема производства заварных сортов хлеба в дискретном режиме с реализацией непрерывного производственного цикла приготовления сброженной заварки. В настоящее время отечественных и зарубежных рекомендаций по реализации традиционной технологии сброженной заварки в дискретном режиме производства заварных сортов хлеба не имеется, и полностью отсутствуют исследования в области научно обоснованного регулирования технологических параметров такого полуфабриката. Целью исследования является теоретическое обоснование перспективности внедрения модифицированной технологии заварных сортов хлеба в дискретном режиме на основе оптимизации производственного цикла сброженной заварки. Исследования проведены на базе действующих хлебопекарных предприятиях Республики Беларусь и учреждения образования «Могилевский государственный университет продовольствия». В качестве объектов исследований выбраны информационные данные из журналов работы заварочных отделений и экспедиций хлебопекарных предприятий, осажаренная заварка, заквашенная заварка, сброженная заварка. В работе использованы общепринятые и специальные методы анализа полуфабрикатов хлебопекарного производства. В ходе работы установлены технологические особенности при приготовлении сброженной заварки. Проведена оценка рецептур и технологических параметров приготовления сброженной заварки в производственном цикле в дискретном режиме работы хлебопекарных предприятий Республики Беларусь. Установлены интервалы изменения количественного состава сброженной заварки и технологических параметров ее приготовления. Выявлены основные дефекты полуфабрикатов, возникающие при приготовлении их в дискретном режиме. Отмечена нестабильность биотехнологических свойств (количественного и качественного состава микроорганизмов, их активности, кислотности, подъемной силы) сброженной заварки при ее приготовлении. Определены общие направления в совершенствовании производственного цикла сброженной заварки в дискретном режиме, основанные на оптимизации технологических параметров ее приготовления.

Ключевые слова: дискретный режим, заварные сорта хлеба, осажаренная заварка, заквашенная заварка, сброженная заварка, дефекты заварки, биотехнологические свойства, технологические параметры

Введение

Хлеб является не только одним из основных продуктов в ежедневном рационе питания, но и объектом социальной политики любого государства. Социальную значимость хлеба определяют такие факторы как традиции и привычки населения страны, относительно низкая себестоимость в сравнении с другими продуктами питания, что обуславливает доступность для всех групп на-

селения, разнообразный ассортимент, относительно высокая пищевая ценность, возможность введения в рецептуру физиологически важных и функциональных компонентов (Цыганова, 2006). Вследствие этого хлебопекарная отрасль наиболее восприимчива к рыночным изменениям и полностью зависит от колебаний спроса и предложения на этом рынке. Основной задачей, стоящей перед хлебопекарной отраслью, является обеспечение населения качественной продукцией, которая

соответствовала бы его каждодневным запросам по ассортименту и количеству.¹

В Республике Беларусь и ряде стран ближнего и дальнего зарубежья особое место занимает ассортимент и традиционная биотехнология хлеба из ржаной муки и смеси ржаной и пшеничной муки, в частности заварных сортов. Этот выбор потребителей, в первую очередь, обусловлен стабильно высокими потребительскими свойствами названного ассортимента (более интенсивной степенью окрашенности корки и мякиша, ярко выраженным вкусом и ароматом, равномерной структурой пористости и др.),^{2,3} более полноценным химическим составом по содержанию незаменимых аминокислот, витаминов группы В, минеральных веществ, пищевых волокон и длительным периодом сохранения свежести (Аношкина, 2001, с. 23-25; Arendt, Ryan, Bello, 2007, p. 165-174; Van Kerrebroeck, Comasio, Harth, De Vuyst, 2018, p. 254-262; Campo, Del Arco, Urtasun, Oria, Ferrer-Mairal, 2016, p. 75-82; Decock, Cappelle, 2005, p. 113-120; Дремучева, 2003, с. 1-3; Косован, 2006, с. 4-5; Кузнецова, Синявская, Афанасьева, Фленова, 2003, Salim-ur-Rehman, Paterson, Piggott, 2006, p. 557-566; Torrieri, Pepe, Ventorino, Masi, Cavella, 2014, с. 508-516).

На хлебопекарных предприятиях Республики Беларусь в традиционной технологии заварных сортов хлеба преимущественно используется сброженная заварка. Она является многостадийным полуфабрикатом, полученным на основе осаживаемой и заквашенной заварки. Традиционное приготовление сброженной заварки требует направленного культивирования специфических микроорганизмов (молочнокислых бактерий *Lactobacillus delbrueckii* (штамм 76), *Lactobacillus plantarum* (штамм И-35) и дрожжей расы «Ивановская») при определенных технологических параметрах и с использованием мучных питательных субстратов определенного состава только в непрерывном режиме. Именно это обеспечивает стабильность биотехнологических свойств сброженной заварки и, соответственно, потребительских свойств заварных сортов хлеба (Афанасьева, 2003; Колосовская, 2011; Кузнецова, 2003).

Реализация такого цикла возможна только при круглосуточном режиме работы хлебопекарных предприятий с постоянной производительностью ассортимента заварных сортов хлеба.^{4,5}

Однако в последние годы производство заварных сортов хлеба в Республике Беларусь осуществляется в дискретном режиме, который обусловлен снижением потребления хлебобулочных изделий (Овсянникова, 2004, с. 6-7; Овсянникова, 2005, с. 6-8; Овсянникова, 2006, с. 6-8; Овсянникова, 2007, с. 4-6; Овсянникова, 2008, с. 5-6; Овсянникова, 2009, с. 8-11; Овсянникова, 2010, с. 4-9; Овсянникова, 2011, с. 4-8; Овсянникова, 2012, с. 4-8; Овсянникова, 2013, с. 4-10; Овсянникова, 2014, с. 16-22; Овсянникова, 2015, с. 6-11; Овсянникова, 2016, с. 9-11; Овсянникова, 2017, с. 4-9; Овсянникова, 2018, с. 9-13; Овсянникова, 2019, с. 8-11) и ежесуточными колебаниями заявок торговых организаций на названный ассортимент (Рисунок 1).

Представленные данные показывают, что максимальные заявки торговых организаций на заварные сорта хлеба на хлебопекарных предприятиях Республики Беларусь отмечались, преимущественно, в понедельник, четверг и пятницу, в остальные дни недели они снижались и достигали минимального значения в воскресенье. Недельные колебания заявок торговых организаций в некоторых случаях, достигали 46,1 %. Вместе с тем, заявки торговых организаций составляли от 20,0 % до 70,0 % от возможной производительности хлебопекарных предприятий по этому ассортименту. Такая ситуация обуславливает технологические (вынужденные) перерывы в течение суток. Сложившаяся тенденция сохраняется в течение года и характерна для большинства хлебопекарных предприятий Республики Беларусь (Гуринова, Самуйленко, Назаренко, 2013, с. 9-13).

Таким образом, на современном этапе развития хлебопекарной отрасли возникла проблема производства заварных сортов хлеба в дискретном режиме с реализацией непрерывного технологического цикла приготовления сброженной заварки. Следует отметить, что в настоящее время отечественных и зарубежных рекомендаций по

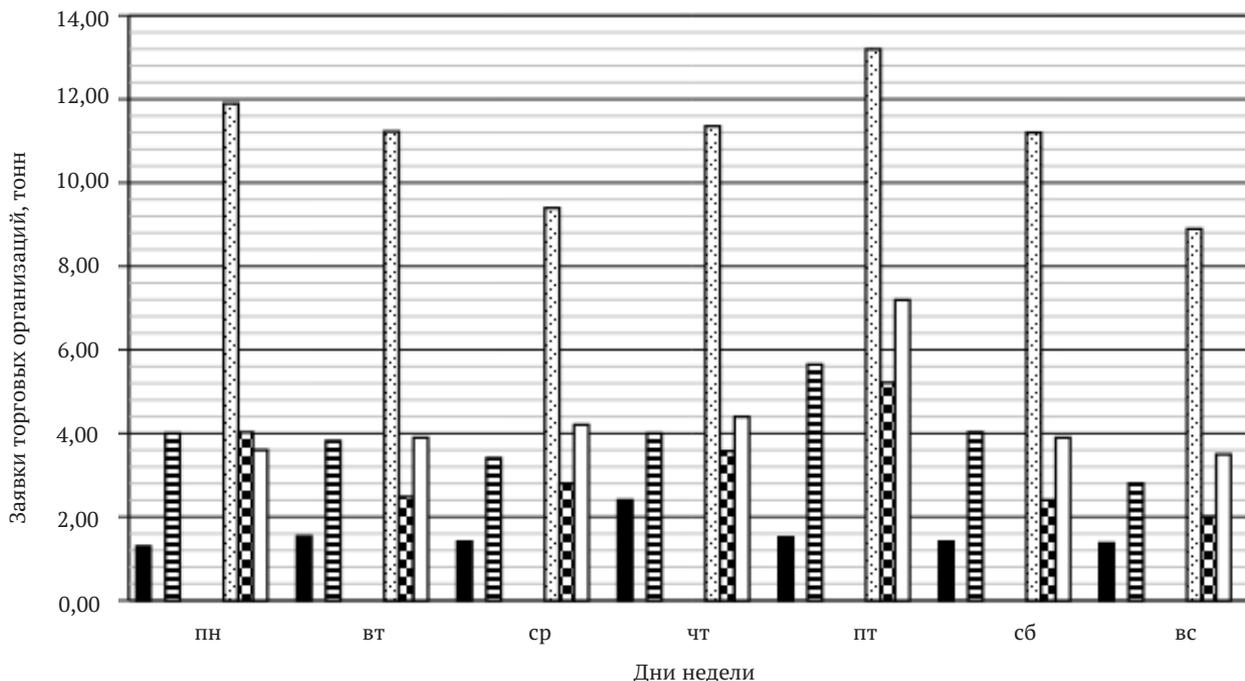
¹ Ауэрман Л.Я. Технология хлебопекарного производства: учебник для студентов вузов. СПб.: Профессия. 2009. 415 с.

² Пашенко Л.П. Биотехнологические основы производства хлебобулочных изделий: учеб. пособие для вузов. М.: Колос, 2002. 368 с.

³ Романов А.С., Давыденко Н.И., Шатнюк Л.Н., Матвеева И.В. Экспертиза хлеба и хлебобулочных изделий. Качество и безопасность: учеб. пособие для студентов вузов / под ред. В.М. Поздняковского. Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2007. 276 с.

⁴ Красникова Л.В., Кострова И.Е., Машкин Д.В. Микробиологические процессы при производстве хлеба, кондитерских и макаронных изделий: учебное пособие. Санкт-Петербург: СПбГУНиПТ, 2007. 132 с.

⁵ Красникова Л.В. Микробиология: учеб. пособие для студентов высших учебных заведений. Санкт-Петербург: Троицкий мост, 2012. 293 с.



- на РУПП «Гомельхлебпром» филиал «Жлобинский хлебозавод» (2012 г.)
на ОАО «Булочно-кондитерская компания "Домочай" филиал "Бобруйский хлебозавод"» (2013 г.)
- ▨ на РУПП «Гроднохлебпром» (2013 г.)
на ОАО «Витебскхлебпром» (2014 г.)
на КУП «Минскхлебпром» хлебозавод №1 (2014 г.)
на ОАО «Булочно-кондитерская компания "Домочай" хлебозавод №3» (2016 г.)
- ▩ на РУПП «Борисовхлебпром» хлебозавод в г. Борисове (2016 г.)
- ▧ на КУП «Минскхлебпром» хлебозавод №4 (2017 г.)
РУПП «Гроднохлебпром» филиал «Слонимский хлебозавод» (2012 г.)
РУПП «Гроднохлебпром» филиал «Слонимский хлебозавод» (2017 г.)

реализации непрерывного цикла приготовления этого полуфабриката в дискретном режиме производства заварных сортов хлеба не имеется, и полностью отсутствуют исследования в области научно обоснованного регулирования технологических параметров такого полуфабриката (Самуйленко, Гуринова, Акулич, 2018, с. 3–10). При этом работа хлебопекарных предприятий должна обеспечивать сохранение постоянных потребительских свойств заварных сортов хлеба в дискретном режиме, что может в полной мере достигаться только за счет стабильности свойств именно сброженной заварки.

С учетом вышеизложенного целью работы является теоретическое обоснование перспективности внедрения модифицированной технологии заварных сортов хлеба из ржаной муки и смеси ржаной и пшеничной муки в дискретном режиме на основе оптимизации производственного цикла сброженной заварки.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- провести анализ рецептур и технологических параметров приготовления сброженной заварки в производственном цикле и установить интервалы их изменения в дискретном режиме производства заварных сортов хлеба;
- выявить основные дефекты заварки на стадии осахаривания, заквашивания и сбраживания в дискретном режиме производства заварных сортов хлеба;
- исследовать биотехнологические свойства заварки на стадиях производственного цикла;
- определить общие направления совершенствования производственного цикла приготовления сброженной заварки в дискретном режиме.

Исследования проведены на базе действующих хлебопекарных предприятиях Республики Бела-

реть г. Могилева, г. Минска, г. Витебска, г. Гродно, г. Жлобина, г. Новогрудка, г. Речицы, г. Полоцка, г. Борисова, г. Бобруйска и др., работающих в дискретном режиме, учреждения образования «Могилевский государственный университет продовольствия».

Материалы и методы исследования

Объекты исследования

В качестве объектов исследований выбраны: информационные данные из журналов работы заводских отделений и экспедиций хлебопекарных предприятий, осахаренная заварка, заквашенная заварка, сброженная заварка.

Методы и процедура исследования

Приготовление сброженной заварки в производственном цикле включает заваривание рецептурной массы, осахаривание полученной заварки, заквашивание заварки с последующим охлаждением, сбраживание заварки. Стадия заваривания используется для перехода крахмала в клейстеризованное состояние, что обеспечивает его большую доступность действию амилолитических ферментов и активизирует процесс гидролиза на стадии осахаривания. В этот период накапливается необходимый комплекс веществ, которые используются: 1) в качестве источников питания для культивируемых микроорганизмов в заварке (для молочнокислых бактерий *Lactobacillus delbrueckii* штамма 76 на стадии заквашивания и для молочнокислых бактерий *Lactobacillus plantarum* штамма И-35, дрожжей расы «Ивановская» на стадии сбраживания); 2) в формировании потребительских свойств заварных сортов хлеба (вкусо-ароматической характеристики, структуры пористости, внешнего вида, способности длительный период времени сохранять свежесть и др.). Стадия заквашивания заварки используется для накопления максимально возможного количества летучих карбонильных соединений (различных альдегидов, ванилина, фурфурола и оксиметилфурфурола, ацетоина, диоксиацетона и др.), которые играют важную роль в формировании ароматического комплекса заварных сортов хлеба, а также различных веществ кислой реакции (преимущественно молочной кислоты), необходимых для формирования определенных реологических свойств теста с использованием ржаной муки. Стадия сбраживания заварки используется для дальнейшего накопления в полуфабрикате молочной кислоты,

летучих кислот, ди- и трикарбонильных кислот, летучих карбонильных соединений путем культивирования в нем молочнокислых бактерий, а также для придания полуфабрикату разрыхляющей способности за счет образования углекислого газа в процессе культивирования дрожжевых клеток.

В работе использованы следующие общепринятые и специальные методы. Консистенция, вкус и запах оценивались непосредственно после отбора всей массы полуфабриката органолептически. При проведении качественной оценки полуфабрикатов фиксировалась продолжительность их брожения или осахаривания. Проба полуфабриката для определения влажности отбиралась сразу после его замеса. Влажность полуфабрикатов определялась методом высушивания на приборе типа ВЧ (конструкции К.Н.Чижовой). Кислотность полуфабрикатов определялась методом титрования, подъемная сила – ускоренным методом. Проведен микробиологический контроль полуфабрикатов. Количественный учет дрожжевых клеток, молочнокислых бактерий и соотношение между ними проведен путем микроскопирования по методу Бургвица. Метод М.П. Юргенсона и И.Ф. Романова использован для оценки активности микроорганизмов в полуфабрикатах (Афанасьева, 2003; Старовойтова, 2002; Карнышова, Севастей, 2008).

Результаты и их обсуждение

На основе обобщенных теоретических данных и проведенного анализа производственного цикла заводских отделений хлебопекарных предприятий Республики Беларусь в дискретном режиме установлены следующие особенности при приготовлении сброженной заварки.

Отделения по приготовлению названного полуфабриката представляют собой специально оборудованные помещения, оснащенные заводскими машинами марки преимущественно ХЗМ-300 или ХЗМ-600, дозаторами муки (МД-100, МД-100-Х-142, Ш2-ХДЗ-100, Контур и др.), дозаторами воды (АВБ-100, АВБ-200, БД-100, БД-200 и др.), стандартными емкостями или емкостями собственной конструкции с рубашками и мешалками для проведения процессов осахаривания, заквашивания, охлаждения и сбраживания в производственном цикле. Режим работы заводских отделений на всех хлебопекарных предприятиях Республики Беларусь является круглосуточным, что обеспечивает непрерывный цикл приготовления сброженной заварки. На всех рассматриваемых хлебопекарных предприятиях приготовление

сброженной заварки в производственном цикле осуществляется по следующей технологии: приготовление заварки с ее последующим осахариванием – заквашивание заварки – охлаждение заквашенной заварки – сбраживание заварки.

Был проведен анализ 60 рецептур сброженной заварки и практической реализации технологических параметров ее постадийного приготовления

в дискретном режиме производства заварных сортов хлеба в Республике Беларусь. Полученная информация была обобщена и сформирована в виде Таблицы 1.

Из Таблицы 1 видно, что для приготовления заварки в производственном цикле на хлебопекарных предприятиях отрасли в дискретном режиме используют муку ржаную сеяную в количестве

Таблица 1

Рецептура и технологические параметры приготовления сброженной заварки в производственном цикле

Наименование сырья и полуфабрикатов	Сброженная заварка текущей стадии производственного цикла	Охлажденная заквашенная заварка текущей стадии производственного цикла	Заквашенная заварка текущей стадии производственного цикла	Осахаренная заварка текущей стадии производственного цикла
Рецептура				
Мука ржаная сеяная, кг	–	–	–	50,0 или 100,0
Солод ржаной сухой ферментированный и/или неферментированный,% от массы муки по унифицированной рецептуре заварных сортов хлеба	–	–	–	3,0–8,0
Пряности (тмин, кориандр, фенхель, анис или др.),% от массы муки по унифицированной рецептуре заварных сортов хлеба	–	–	–	0–1,0
Вода, кг	–	–	–	100,0 или 200,0
Осахаренная заварка с предыдущей стадии производственного цикла	–	(0–50,0)% от массы охлажденной заквашенной заварки текущей стадии	(10,0–90,0)% от массы заквашенной заварки текущей стадии	–
Заквашенная заварка с предыдущей стадии производственного цикла	–	(100,0–50,0)% от массы охлажденной заквашенной заварки текущей стадии	(90,0–10,0)% от массы заквашенной заварки текущей стадии	–
Охлажденная заквашенная заварка с предыдущей стадии производственного цикла	(10,0– 90,0)% от массы сброженной заварки текущей стадии	–	–	–
Сброженная заварка с предыдущей стадии производственного цикла	(90,0–10,0)% от массы сброженной заварки текущей стадии	–	–	–
Технологические параметры приготовления				
Влажность начальная,%	72,0–78,0	72,0–78,0	72,0–78,0	72,0–78,0
Температура начальная,°С	25–35	45–55	45–55	45–65
Температура конечная,°С	25–35	25–35	45–55	45–55
Продолжительность заваривания, мин	–	–	–	60

Таблица 1

Наименование сырья и полуфабрикатов	Сброженная заварка текущей стадии производственного цикла	Охлажденная заквашенная заварка текущей стадии производственного цикла	Заквашенная заварка текущей стадии производственного цикла	Осахаренная заварка текущей стадии производственного цикла
Продолжительность осахаривания, мин	–	–	–	60–720
Продолжительность заквашивания, мин	–	–	60–480	–
Продолжительность охлаждения, мин	–	60–480	–	–
Продолжительность сбраживания, мин	60–480	–	–	–
Кислотность конечная, град.	9,0–13,0	8,0–11,0	7,0–9,0	не более 4,0
Подъемная сила, мин, не более	25	–	–	–

50,0 кг или 100,0 кг, что составляет до 25,0 % от массы муки по унифицированной рецептуре для заварных сортов хлеба. Использование именно такого количества муки обусловлено особенностями производственного цикла приготовления сброженной заварки и техническим оснащением действующих хлебопекарных предприятий. В заварку обязательно вносится солод ржаной сухой ферментированный и/или неферментированный в количестве от 3,0 % до 8,0 % от массы муки по унифицированной рецептуре для заварных сортов хлеба. В некоторых случаях вносятся измельченные пряности (преимущественно тмин и кориандр). Все сыпучее сырье дозируется последовательно в заварочную машину, затем смешивается с горячей водой температурой (95–97)°С в соотношении с мукой ржаной сеяной 1:1. Стоит отметить, что в дискретном режиме солод и пряности вносятся в начале процесса заваривания, а не в конце как предполагает традиционная технология при круглосуточном режиме производства заварных сортов хлеба. Начальная температура заварки составляет (45–65) °С, а не традиционных (65–67) °С. Приготовленная заварка подвергается осахариванию в течение (60–720) мин и естественному охлаждению до температуры (50±5) °С. В то же время продолжительность стадии осахаривания традиционно не превышает 120 мин. Далее осажаренная заварка текущей стадии производственного цикла используется преимущественно в качестве питательного субстрата в производственном цикле приготовления заквашенной заварки. В дискретном режиме работы хлебопекарных предприятий Республики Беларусь осажаренная заварка может служить субстратом и для сброженной заварки. Анализ производственного цикла приготовления сброженной заварки в

дискретном режиме показал, что варьирование рецептурного состава осажаренной заварки как одной из стадий и технологических параметров ее приготовления осуществляется индивидуально на каждом предприятии. Это преимущественно приводит к изменению органолептических показателей осажаренной заварки (с одной стороны – к невыраженному вкусу и аромату, с другой стороны – к расслаивающейся консистенции с кислым вкусом и ароматом), к изменению показателя кислотности в диапазоне от 2,2 град. до 6,0 град.

В дискретном режиме процесс заквашивания на текущей стадии производственного цикла происходит путем отбора заквашенной заварки в количестве (10–90) % от массы заквашенной заварки текущей стадии на стадию охлаждения и последующего сбраживания, а затем добавления к оставшейся заквашенной заварке осажаренной заварки в количестве (90–10) % от массы заквашенной заварки текущей стадии. На количество полуфабрикатов влияет объем заявок на заварные сорта хлеба на следующие сутки. Традиционно при круглосуточном режиме работы хлебопекарных предприятий отбор заквашенной заварки составляет 50,0% от массы заквашенной заварки текущей стадии. Кроме того, установлено, что количество полуфабрикатов определяется в заварочном отделении преимущественно субъективным путем и полностью зависит от опыта и квалификации производственного персонала, то есть на хлебопекарных предприятиях отсутствует единая методика определения количества полуфабрикатов в дискретном режиме. Анализ показал, что в дискретном режиме температура заквашивания заварки изменяется в диапазоне (45–55) °С, а продолжительность процесса составляет от 60 мин до 480 мин. Традици-

онно при круглосуточном режиме производства заварных сортов хлеба температура заквашивания составляет (48–50)°С, а продолжительность этой стадии изменяется от 150 мин до 180 мин. Такой широкий диапазон изменения технологических параметров влечет за собой возникновение различных дефектов заварки на стадии заквашивания (Таблица 2), что требует внесения оперативных корректирующих мероприятий, которые не всегда осуществимы на текущей стадии производственного цикла и малоэффективны в дискретном режиме.

У приготовленной заквашенной заварки наблюдается нестабильность органолептических показателей, характеризующаяся или однородной консистенцией со слабым выраженным вкусом и ароматом, или расслаивающейся консистенцией с неприятным резким кислым вкусом и ароматом. Отмечается нестабильность общего количества молочнокислых бактерий *Lactobacillus delbrueckii* штамма 76, их активности и, как следствие, показателя кислотности. Общее количество молочнокислых бактерий изменяется от (870±20)·10⁶ ед/г до (2230±20)·10⁶ ед/г, активность молочнокислых бактерий составляет от 50 мин до 136 мин, показатель кислотности находится в диапазоне от 4,4 град. до 13,8 град. Кроме того, представленные показатели на каждой следующей стадии заквашивания существенно отличаются от этих показателей предыдущей стадии заквашивания. Это требует внесения оперативных корректирующих действий в процесс последующей стадии сбражи-

вания (обоснованное изменение технологических параметров, соотношения используемых полуфабрикатов, приготовление по полному разводочному циклу), чтобы стало возможным получение полуфабриката со стабильными биотехнологическими свойствами.

После стадии заквашивания заварку подвергают охлаждению до конечной температуры (25–35) °С. Традиционно при круглосуточном режиме производства заварных сортов хлеба заквашенную заварку охлаждают до температуры (31–33) °С. На эту стадию поступает или заквашенная заварка с предыдущей стадии производственного цикла, или в смеси с осахаренной заваркой. Количество названных полуфабрикатов изменяется в диапазонах, представленных в таблице 1, и не имеет четкой закономерности в зависимости от заявок торговых организаций на заварные сорта хлеба, то есть режима дискретности в работе хлебопекарного предприятия. В заварочных отделениях разных предприятий хлебопекарной отрасли используется абсолютно разное количество осахаренной и заквашенной заварки на стадии охлаждения. В дискретном режиме продолжительность процесса составляет от 60 мин до 480 мин против традиционных 120 мин при круглосуточном режиме производства и не имеет четкой и обоснованной закономерности. Продолжительность охлаждения влияет на кислотность исследуемого полуфабриката. Этот показатель для охлажденной заквашенной заварки увеличивается на (1,0–4,0) град.

Таблица 2

Основные дефекты заварки на стадии заквашивания и некоторые способы их устранения

Дефекты	Причины	Способы устранения
Быстрое нарастание кислотности заквашенной заварки текущей стадии производственного цикла	Повышенная кислотность заварки с предыдущей стадии производственного цикла	Кислотность осахаренной заварки выдерживать не более 4,0 град.
	Недостаточная степень осахаривания заварка	Соблюдать параметры процесса осахаривания заварки (температура, продолжительность)
	Начальная температура заквашенной заварки ниже 45°С	Повысить начальную температуру заварки до 48°С – 52°С
Медленное нарастание кислотности заквашенной заварки текущей стадии производственного цикла	Неправильно установленное количество заквашенной и осахаренной заварки с предыдущей стадии производственного цикла	Увеличить количество заквашенной заварки текущей стадии, направляемой на стадию охлаждения, и увеличить количество осахаренной заварки с предыдущей стадии производственного цикла
	Начальная температура заквашенной заварки выше 52°С	Понизить начальную температуру заварки до 45°С – 48°С
	Неправильно установленное количество заквашенной и осахаренной заварки с предыдущей стадии производственного цикла	Уменьшить количество заквашенной заварки текущей стадии, направляемой на стадию охлаждения, и уменьшить количество осахаренной заварки с предыдущей стадии производственного цикла

по сравнению с заваркой, полученной непосредственно после стадии заквашивания.

Процесс сбраживания на текущей стадии производственного цикла происходит путем отбора сброженной заварки на стадию замеса теста, а затем внесения к оставшейся сброженной заварке охлажденной заквашенной заварки. Интервалы изменения количества используемых полуфабрикатов на стадии сбраживания в дискретном режиме представлены в Таблице 1. Использование того или иного количества заварки устанавливается субъективным путем, не имеет обоснованной закономерности, при этом отсутствует единая методика расчета. Температура на стадии сбраживания в дискретном режиме варьируется в пре-

делах (25–35) °С, продолжительность изменяется от 60 мин до 480 мин. При круглосуточном режиме производства заварных сортов хлеба температура сбраживания составляет (31–33) °С, а продолжительность сбраживания – (150–180) мин. На стадии сбраживания, как и при заквашивании, возникают различные дефекты заварки, которые не устранимы на текущей стадии производственного цикла и малоэффективны на следующих стадиях (Таблица 3).

Так заварка, поочередно направляемая со стадии сбраживания на замес теста, имеет нестабильные органолептические показатели и биотехнологические свойства (количественный и качественный состав культивируемых микроорганизмов,

Таблица 3
Основные дефекты заварки на стадии сбраживания и некоторые способы их устранения

Дефекты	Причины	Способы устранения
Быстрое нарастание кислотности сброженной заварки текущей стадии производственного цикла	Неправильно установленное количество сброженной и охлажденной заквашенной заварки с предыдущей стадии производственного цикла	Увеличить количество сброженной заварки текущей стадии, направляемой на стадию замеса теста, и увеличить количество охлажденной заквашенной заварки с предыдущей стадии производственного цикла
	Высокая конечная температура охлажденной заквашенной заварки	Снизить конечную температуру охлажденной заквашенной заварки до 25°С
	Высокая конечная кислотность охлажденной заквашенной заварки	Подавать заквашенную заварку на стадию охлаждения с нижним допустимым пределом конечной кислотности
Медленное нарастание кислотности сброженной заварки текущей стадии производственного цикла	Продолжительная стадия охлаждения заквашенной заварки	Уменьшить продолжительность стадии охлаждения заквашенной заварки путем снижения температуры воды в рубашке емкости для охлаждения
	Низкая конечная температура охлажденной заквашенной заварки	Повысить конечную температуру охлажденной заквашенной заварки до (30–35)°С
	Неправильно установленное количество сброженной и охлажденной заквашенной заварки с предыдущей стадии производственного цикла	Уменьшить количество сброженной заварки текущей стадии, направляемой на стадию замеса теста, и уменьшить количество охлажденной заквашенной заварки с предыдущей стадии производственного цикла
Неудовлетворительная подъемная сила сброженной заварки текущей стадии производственного цикла	Низкая температура на стадии сбраживания	Повысить температуру на стадии сбраживания до (33–35)°С
	Высокая температура заварки на стадии сбраживания	Снизить температуру на стадии сбраживания до 30°С
	Высокая конечная кислотность сброженной заварки	Увеличить количество сброженной заварки текущей стадии, направляемой на стадию замеса теста, увеличить количество охлажденной заквашенной заварки с предыдущей стадии производственного цикла, увеличить количество осаживаемой заварки с предыдущей стадии производственного цикла, направляемой на стадию охлаждения, увеличить интенсивность перемешивания полуфабрикатов

Таблица 3

Дефекты	Причины	Способы устранения
Пенообразование на стадии сбраживания заварки	Подсортировка пшеничной муки	Исключить попадание пшеничной муки
	Высокая начальная влажность заварок, в том числе на стадии сбраживания	Понизить начальную влажность полуфабрикатов до (72,0–74,0)%
	Наличие контаминантных микроорганизмов (дикие дрожжи, гнилостные бактерии и др.), установленное при микроскопировании	Провести санитарную обработку линии, осуществить приготовление заварок по полному производственному циклу с использованием чистых культур микроорганизмов

соотношение между дрожжевыми клетками и молочнокислыми бактериями, активность микроорганизмов, показатель конечной кислотности и подъемной силы). В некоторых случаях сброженная заварка представляет собой однородную массу с кисловатым вкусом и невыраженным ароматом или неоднородную массу, увеличенную в объеме, с крупными пузырьками и кислым вкусом и резким ароматом. Количественный состав дрожжевых клеток изменяется от $(130 \pm 10) \cdot 10^6$ ед/г до $(345 \pm 10) \cdot 10^6$ ед/г, молочнокислых бактерий – от $(1145 \pm 20) \cdot 10^6$ ед/г до $(3150 \pm 20) \cdot 10^6$ ед/г. В ряде порций сброженной заварки отмечается соотношение между дрожжевыми клетками и молочнокислыми бактериями менее 1:10, что не соответствует существующим рекомендациям технологических инструкций (Колосовская, 2011), активность микроорганизмов изменяется от 30 мин до 96 мин. Показатель кислотности находится в диапазоне от 9,2 град. до 15,8 град, а показатель подъемной силы от 22 мин до 55 мин. Представленные показатели после каждой стадии сбраживания существенно отличаются, то есть на замес теста поступает сброженная заварка с биотехнологическими свойствами, изменяемыми в широком диапазоне.

Такая ситуация прослеживается на всех анализируемых хлебопекарных предприятиях Республики Беларусь и требует внесения оперативных корректирующих мероприятий в процесс тестоведения с целью обеспечения потребителя заварными сортами хлеба, имеющими стабильные показатели качества, которые соответствуют требованиям технических нормативных правовых актов.

Анализ производственного цикла заварочных отделений хлебопекарных предприятий, осуществляющих производство заварных сортов хлеба в дискретном режиме, показывает, что подход в приготовлении сброженной заварки носит преимущественно субъективный характер. Это приводит к дестабилизации биотехнологических свойств полуфабриката, влияет на потребитель-

ские свойства заварных сортов хлеба. Поэтому для реализации непрерывного цикла приготовления сброженной заварки в дискретном режиме производства заварных сортов хлеба актуальным является разработка модифицированной технологии заварных сортов хлеба, базируемой на научно обоснованном подходе к регулированию технологических параметров приготовления названного полуфабриката. Для этого необходимо установить взаимосвязь между рецептурным составом, технологическими параметрами приготовления сброженной заварки на каждой стадии производственного цикла и ее биотехнологическими свойствами, выявить оптимальные интервалы изменения, обеспечивающие требуемый качественный и количественный состав полуфабриката в дискретном режиме.

Заключение

В результате проведенных исследований отмечена социальная значимость для потребителей Республики Беларусь заварных сортов хлеба из ржаной муки и смеси ржаной и пшеничной муки, изготавливаемых по традиционной технологии с использованием сброженной заварки. Выявлена проблема производства заварных сортов хлеба в дискретном режиме с реализацией непрерывного технологического цикла приготовления сброженной заварки.

Проведен анализ производственного цикла заварочных отделений хлебопекарных предприятий Республики Беларусь. Дана оценка диапазонов варьирования соотношения сырьевых компонентов и технологических параметров приготовления сброженной заварки в производственном цикле в дискретном режиме работы хлебопекарных предприятий. Установлено изменение в широком диапазоне количественного состава сырья и технологических параметров приготовления сброженной заварки на всех стадиях производственного цикла.

Выявлены основные дефекты сброженной заварки, приготовленной на основе осахаренной и заквашенной заварки, в дискретном режиме производства заварных сортов хлеба. Отмечена постоянная нестабильность биотехнологических свойств сброженной заварки на каждой стадии производственного цикла ее приготовления:

- конечная кислотность осахаренной заварки изменяется от 2,2 град. до 6,0 град.;
- общее количество молочнокислых бактерий в заквашенной заварке варьируется от $(870 \pm 20) \cdot 10^6$ ед/г до $(2230 \pm 20) \cdot 10^6$ ед/г, их активность изменяется от 50 мин до 136 мин, показатель кислотности находится в диапазоне от 4,4 град. до 13,8 град.;
- конечная кислотность охлажденной заквашенной заварки увеличивается на (1,0–4,0) град. по сравнению с заваркой, полученной непосредственно после стадии заквашивания;
- в сброженной заварке количественный состав дрожжевых клеток изменяется от $(130 \pm 10) \cdot 10^6$ ед/г до $(345 \pm 10) \cdot 10^6$ ед/г, молочнокислых бактерий – от $(1145 \pm 20) \cdot 10^6$ ед/г до $(3150 \pm 20) \cdot 10^6$ ед/г, активность микроорганизмов варьируется от 30 мин до 96 мин, показатель кислотности находится в диапазоне от 9,2 град. до 15,8 град, показатель подъемной силы от 22 мин до 55 мин.

Показано, что в дискретном режиме при реализации непрерывного цикла приготовления сброженной заварки возникают различные дефекты этого полуфабриката, а внесение изменений в технологические параметры не может быть реализовано на текущей стадии производственного цикла.

Установлена необходимость совершенствования производственного цикла сброженной заварки в дискретном режиме путем поиска взаимосвязи между количественным составом рецептурных компонентов, технологическими параметрами поэтапного приготовления сброженной заварки и ее биотехнологическими свойствами для выявления оптимальных диапазонов варьирования, обеспечивающие требуемый качественный и количественный состав полуфабриката в дискретном режиме.

Благодарности

Исследование выполнено в рамках проекта Государственной программы научных исследований Республики Беларусь «Качество и эффективность агропромышленного производства 3.68» по теме «Оптимизация технологического цикла сброженной заварки, полученной на основе осахаренной и

заквашенной заварки, путем моделирования жизнедеятельности популяций симбиотически развивающихся в них микроорганизмов в дискретном режиме производства хлеба» (ГЗ 19–05, номер государственной регистрации 20191859).

Литература

- Аношкина Г.В. Производство хлеба из ржаной и смеси ржано-пшеничной муки // Хлебопродукты. 2001. № 1. С. 23–25.
- Афанасьева О.В. Микробиология хлебопекарного производства. Санкт-Петербург: Береста, 2003. 220 с.
- Гуринова Т.А., Самуйленко Т.Д., Назаренко Е.А. Исследование технологического процесса приготовления сброженных заварок в постоянно изменяющихся условиях работы хлебопекарных предприятий // Вестник Могилевского государственного университета продовольствия. 2013. № 2(15). С. 9–13.
- Дремучева Г.Ф. Ржаной хлеб в России: вчера, сегодня, завтра // Хлебопекарное и кондитерское производство. 2003. № 2. С. 1–3.
- Карнышова Л.В., Севастей Л.И. Методические указания по проведению испытаний качества полуфабрикатов хлебопекарного производства / Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «Белтехнохлеб». Минск, 2008. 15 с.
- Колосовская Л.С. Сборник технологических инструкций по производству хлебобулочных изделий / Государственное предприятие «Белтехнохлеб». Минск: Бизнесофсет, 2011. Т. 1. 348 с.
- Косован А.П. Экономические и социальные аспекты производства хлеба с использованием ржаной муки // Хлебопечение России. 2006. № 6. С. 4–5.
- Кузнецова Л.И., Синявская Н.Д., Афанасьева О.В., Фленова Е.Г. Производство заварных сортов хлеба с использованием ржаной муки: монография. Санкт-Петербург: ГосНИИХП, 2003. 298 с.
- Овсянникова Л.А. Первый каравай Беларуси – 2017 // Пекарь и кондитер. 2018. № 2. С. 9–13.
- Овсянникова Л.А. Первый каравай Беларуси – 2018 // Пекарь и кондитер. 2019. № 2. С. 8–11.
- Овсянникова Л.А. Хлебные итоги – 2009 // Хлебопек. 2010. № 2. С. 4–9.
- Овсянникова Л.А. Хлебные итоги – 2010 // Хлебопек. 2011. № 2. С. 4–8.
- Овсянникова Л.А., Тепко Н.И. Хлебопечение Беларуси – итоги 2003 года // Хлебопек. 2004. № 2. С. 6–7.
- Овсянникова Л.А. Хлебопечение Беларуси – итоги 2008 года // Хлебопек. 2009. № 2. С. 8–11.

- Овсянникова Л.А. Хлебопечение Беларуси – 2006 // Хлебопек. 2007. № 2. С. 4-6.
- Овсянникова Л.А. Хлебопечение Беларуси – 2007 // Хлебопек. 2008. № 2. С. 5-6.
- Овсянникова Л.А. Хлебопечение Беларуси – 2011 // Хлебопек. 2012. № 1. С. 4-8.
- Овсянникова Л.А. Хлебопечение Беларуси – 2012 // Хлебопек. 2013. № 1. С. 4-10.
- Овсянникова Л.А. Хлебопечение Беларуси – 2013 // Хлебопек. 2014. № 1. С. 16-22.
- Овсянникова Л.А. Хлебопечение Беларуси – 2014 // Хлебопек. 2015. № 1. С. 6-11.
- Овсянникова Л.А. Хлебопечение Беларуси – 2015 // Хлебопек. 2016. № 1. С. 9-11.
- Овсянникова Л.А. Хлебопечение Беларуси – 2016 // Пекарь и кондитер. 2017. № 2. С. 4-9.
- Овсянникова Л.А. 2004 год – отраслевые итоги // Хлебопек. 2005. № 2. С. 6-8.
- Овсянникова Л.А. 2005 – итоги работы // Хлебопек. 2006. № 1. С. 6-8.
- Самуйленко Т.Д., Гуринова Т.А., Акулич А.В. Особенности использования кислотообразующих микроорганизмов для приготовления жидких ржаных полуфабрикатов при различных режимах производства хлеба // Вестник Могилевского государственного университета продовольствия. 2018. № 2(25). С. 3-10.
- Старовойтова А.И., Базан А.И., Фидаров Ф.М., Федоренчик Л.А. Методические указания по проведению санитарно-микробиологического контроля на хлебопекарных предприятиях / Государственное предприятие «Белтехнохлеб». Лаборатория индикации возбудителей инфекционных и паразитарных заболеваний ГУ «Республиканский центр гигиены и эпидемиологии» Минздрава Республики Беларусь. Минск, 2002. 30 с.
- Цыганова Т.Б. Технология и организация производства хлебобулочных изделий. Москва: Академия, 2006. 447 с.
- Arendt E.K., Ryan L.A.M., Bello F.D. Impact of sourdough on the texture of bread // Food Microbiology. 2007. Vol. 24, issue 2. P. 165-174. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2006.07.011>.
- Campo E., Del Arco L., Urtasun L., Oria R., Ferrer-Mairal A. Impact of sourdough on sensory properties and consumers preference of gluten-free breads enriched with teff flour // Journal of Cereal Science. 2016. Vol. 67. P. 75-82. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.09.010>.
- Decock P., Cappelle S. Bread technology and sourdough technology // Trends in Food Science & Technology. 2005. Vol. 16, issue 1-3. P. 113-120. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.04.012>.
- Salim-ur-Rehman, Paterson A., Piggott J.R. Flavour in sourdough breads: a review // Trends in Food Science & Technology. 2006. Vol. 17, issue 10. P. 557-566. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2006.03.006>
- Torrieri E., Pepe O., Ventrino V., Masi P., Cavella S. Effect of sourdough at different concentrations on quality and shelf life of bread // LWT – Food Science and Technology. 2014. Vol. 56, issue 2. P. 508-516. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.12.005>.
- Van Kerrebroeck S., Comasio A., Harth H., De Vuyst L. Impact of starter culture, ingredients, and flour type on sourdough bread volatiles as monitored by selected ion flow tube-mass spectrometry // Food Research International. 2018. Vol. 106. P. 254-262. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.068>.

Analysis of the production cycle of fermentation rooms of bakery enterprises of the Republic of Belarus

Alexander V. Akulich

*Mogilev State University of Food Technologies
3 Schmidt Ave., Mogilev, Republic of Belarus, 212027
E-mail: mgup@mogilev.by*

Tatyana D. Samuilenko

*Mogilev State University of Food Technologies
3 Schmidt Ave., Mogilev, Republic of Belarus, 212027
E-mail: TataSam@tut.by*

In the Republic of Belarus the assortment and traditional biotechnology of malt breads made from rye flour and a mixture of rye and wheat flour are of social importance. Fermented semi-finished product made under continuous mode of operation is mainly used in the traditional technology of malt breads at Belarusian bakery enterprises. At the present stage of the development of the bakery industry there appeared a problem of producing malt bread under discrete mode with continuous production cycle applied for the preparation of the fermented half-finished product. Currently, there are no recommendations at the national and international levels about the application of traditional technology for the fermented semi-finished product under discrete mode of malt bread production, and research data on scientifically substantiated regulation of technological parameters of this type of semi-finished product are not available. The aim of the study is to substantiate theoretically the benefits of introducing a modified technology for malt breads under discrete mode based on optimizing the production cycle of the fermented semi-finished product. The studies were carried out at operating bakery enterprises of the Republic of Belarus and educational institution «Mogilev State University of Food Technologies». Information data from the journals of the running of fermentation rooms and dispatching of bakery enterprises, converted semi-finished product, fermented semi-finished product, leavened semi-finished product were chosen as objects of the research. Generally accepted and ad hoc methods of analysis of semi-finished products of bakery production were used in carrying out the study. Technological features for the preparation of the fermented semi-finished product were found out. Recipes and technological parameters for the preparation of the fermented semi-finished product in the production cycle under discrete mode of operation of bakery enterprises of the Republic of Belarus were estimated. There were determined the intervals for changing the quantitative composition of the fermented semi-finished product and the technological parameters of its preparation. The main defects of semi-finished products that appear in their preparation under discrete mode were revealed. Instability of biotechnological properties (quantitative and qualitative composition of microorganisms, their activity, acidity, raising capacity) of the fermented semi-finished product being manufactured are shown. There also have been determined the general directions for improving the production cycle of the fermented semi-finished product under discrete mode that are based on the optimization of the technological parameters.

Keywords: discrete mode, malt breads, converted semi-finished product, leavened semi-finished product, fermented semi-finished product, semi-finished product defects, biotechnological properties, technological parameters

Reference

- Afanas'eva O.V. Mikrobiologiya khlebopekarnogo proizvodstva [Microbiology of bakery production]. S-Peterburg: Beresta, 2003. 220 p.
- Anoshkina G.V. Proizvodstvo khleba iz rzhanoi i smesi rzhano-pshenichnoi muki [Production of bread from rye and rye-wheat flour mixture]. *Khleboprodukty [Bread products]*, 2001, no 1, pp. 23-25.
- Dremucheva G.F. Rzhanoi khleb v Rossii: vchera, segodnya, zavtra [Rye bread in Russia: yesterday, today, tomorrow]. *Khlebopekarnoe i konditerskoe proizvodstvo [Bakery and confectionery production]*, 2003, no. 2, pp. 1-3.
- Gurinova T.A., Samuilenko T.D., Nazarenko E.A. Issledovanie tekhnologicheskogo protsessa prigotovleniya sbrozhenykh zavarok v postoyanno izmenyayushchikhsya usloviyakh raboty khlebopekarnykh predpriyatii [Investigation of the technological process for the preparation of fermented tea leaves in the constantly changing operating conditions of bakery enterprises]. *Vestnik Mogilevskogo gosudarstvennogo universiteta prodovol'stviya [Bulletin of the Mogilev State University of Food]*, 2013, no. 2(15), pp. 9-13.

- Karnyshova L.V., Sevastei L.I. Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu ispytaniy kachestva polufabrikatov khlebopekarnogo proizvodstva [Guidelines for testing the quality of semi-finished products for bakery production]. Minsk, 2008. 15 p.
- Kolosovskaya L.S. Sbornik tekhnologicheskikh instruktsii po proizvodstvu khlebobulochnykh izdelii [Collection of technological instructions for the production of bakery products]. Minsk: Biznesofset, 2011. Vol. 1. 348 p.
- Kosovan A.P. Ekonomicheskie i sotsial'nye aspekty proizvodstva khleba s ispol'zovaniem rzhanoi muki [Economic and social aspects of bread production using rye flour]. *Khlebopechenie Rossii [Bakery of Russia]*, 2006, no. 6, pp. 4-5.
- Kuznetsova L.I., Sinyavskaya N.D., Afanas'eva O.V., Flenova E.G. Proizvodstvo zavarnykh sortov khleba s ispol'zovaniem rzhanoi muki [Production of custard breads using rye flour]. S-Peterburg: GosNIIKhP, 2003. 298 p.
- Ovsyannikova L.A. 2004 god – otraslevye itogi [2004 - industry results]. *Pekar' i konditer [Baker and pastry chef]*, 2005, no. 2, pp. 6-8.
- Ovsyannikova L.A. 2005 – itogi raboty [2005 - results of work]. *Khlebopek [Baker]*, 2006, no. 1. pp. 6-8.
- Ovsyannikova L.A. Khlebnye itogi – 2009 [Bread totals - 2009]. *Khlebopek [Baker]*, 2010, no. 2, pp. 4-9.
- Ovsyannikova L.A. Khlebnye itogi – 2010 [Bread totals - 2009]. *Khlebopek [Baker]*, 2011, no. 2, pp. 4-8.
- Ovsyannikova L.A. Khlebopechenie Belarusi – 2006 [Bakery of Belarus - 2006]. *Khlebopek [Baker]*, 2007, no. 2, pp. 4-6.
- Ovsyannikova L.A. Khlebopechenie Belarusi – 2007 [Bakery of Belarus - 2007]. *Khlebopek [Baker]*, 2008, no. 2, pp. 5-6.
- Ovsyannikova L.A. Khlebopechenie Belarusi – 2011 [Bakery of Belarus - 2011]. *Khlebopek [Baker]*, 2012, no. 1, pp. 4-8.
- Ovsyannikova L.A. Khlebopechenie Belarusi – 2012 [Bakery of Belarus - 2012]. *Khlebopek [Baker]*, 2013, no. 1, pp. 4-10.
- Ovsyannikova L.A. Khlebopechenie Belarusi – 2013 [Bakery of Belarus - 2013]. *Khlebopek [Baker]*, 2014, no. 1. pp. 16-22.
- Ovsyannikova L.A. Khlebopechenie Belarusi – 2014 [Bakery of Belarus - 2014]. *Khlebopek [Baker]*, 2015, no. 1, pp. 6-11.
- Ovsyannikova L.A. Khlebopechenie Belarusi – 2015 [Bakery of Belarus - 2015]. *Khlebopek [Baker]*, 2016, no. 1, pp. 9-11.
- Ovsyannikova L.A. Khlebopechenie Belarusi – 2016 [Bakery of Belarus - 2016]. *Pekar' i konditer [Baker and pastry chef]*, 2017, no. 2. pp. 4-9.
- Ovsyannikova L.A. Khlebopechenie Belarusi – itogi 2008 goda [Bakery of Belarus - results of 2008]. *Khlebopek*, 2009, no. 2, pp. 8-11.
- Ovsyannikova L.A. Pervyi karavai Belarusi – 2017 [The first loaf of Belarus - 2017]. *Pekar' i konditer*, 2018, no. 2, pp. 9-13.
- Ovsyannikova L.A. Pervyi karavai Belarusi – 2018 [The first loaf of Belarus - 2018]. *Pekar' i konditer*. 2019, no. 2, pp. 8-11.
- Ovsyannikova L.A., Tepko N.I. Khlebopechenie Belarusi – itogi 2003 goda [Bakery of Belarus - results of 2003]. *Khlebopek [Baker]*, 2004, no. 2, pp. 6-7.
- Starovoitova A.I., Bazan A.I., Fidarov F.M., Fedorenchik L.A. Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu sanitarno-mikrobiologicheskogo kontrolya na khlebopekarnykh predpriyatiyakh [Methodical instructions for conducting sanitary and microbiological control at bakery enterprises]. Minsk, 2002. 30 p.
- Tsyganova T.B. Tekhnologiya i organizatsiya proizvodstva khlebobulochnykh izdelii [Technology and organization of production of bakery products]. Moscow: Akademiya, 2006. 447 p.
- Arendt E.K., Ryan L.A.M., Bello F.D. Impact of Sourdough on the Texture of Bread. *Food Microbiology*, 2007, vol. 24. issue 2, pp. 165-174. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2006.07.011>.
- Campo E., Del Arco L., Urtasun L., Oria R., Ferrer-Mairal A. Impact of Sourdough on Sensory Properties and Consumers Preference of Gluten-Free Breads Enriched with Teff Flour. *Journal of Cereal Science*, 2016, vol. 67, pp. 75-82. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.09.010>.
- Decock P., Cappelle S. Bread Technology and Sourdough Technology. *Trends in Food Science & Technology*. 2005, vol. 16, issue 1-3, pp. 113-120. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2004.04.012>.
- Salim-ur-Rehman, Paterson A., Piggott J.R. Flavour in Sourdough Breads: A Review. *Trends in Food Science & Technology*, 2006, vol. 17, issue 10. pp. 557-566. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2006.03.006>
- Samuilenko T.D., Gurinova T.A., Akulich A.V. Osobennosti Ispol'zovaniya Kislotoobrazuyushchikh Mikroorganizmov Dlya Prigotovleniya Zhidkikh Rzhanykh Polufabrikatov Pri Razlichnykh Rezhimakh Proizvodstva Khleba. *Vestnik Mogilevskogo Gosudarstvennogo Universiteta Prodovol'stviya*, 2018, no. 2(25), pp. 3-10.
- Torrieri E., Pepe O., Ventrino V., Masi P., Cavella S. Effect of Sourdough at Different Concentrations on Quality and Shelf Life of Bread. *LWT – Food Science and Technology*, 2014, vol. 56, issue 2, pp. 508-516. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.12.005>.
- Van Kerrebroeck S., Comasio A., Harth H., De Vuyst L. Impact of Starter Culture, Ingredients, and Flour Type on Sourdough Bread Volatiles as Monitored by Selected Ion Flow Tube-Mass Spectrometry. *Food Research International*, 2018, vol. 106, pp. 254-262. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.068>.

Разработка конфет типа Ассорти повышенной пищевой ценности и сохраняемости

Ткешелашвили Манана Емельяновна

ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова»
Адрес: 117997, город Москва, Стремянный переулок, д. 36
E-mail: mananatk@yandex.ru

Бобожонова Галина Александровна

ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова»
Адрес: 117997, город Москва, Стремянный переулок, д. 36
E-mail: batay96@mail.ru

Сорокина Анна Владимировна

ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова»
Адрес: 117997, город Москва, Стремянный переулок, д. 36
E-mail: anna773@yandex.ru

Современные тенденции, формирующие здоровый рацион питания, диктуют необходимость создания пищевых продуктов, в том числе кондитерских изделий, характеризующихся повышенной пищевой ценностью. Использование нетрадиционных видов сырья при производстве кондитерских изделий может способствовать повышению содержания в них полноценных белков и микронутриентов. Цель работы – разработка рецептурного состава конфет типа Ассорти, обеспечивающего повышение пищевой ценности и вкусовых свойств изделий. Работа выполнена в Научно-исследовательском институте продовольственной безопасности и на кафедре товароведения и товарной экспертизы Р.У.им. Г.В. Плеханова. На основании проведенных лабораторных испытаний подобран состав компонентов в рецептуре конфет типа Ассорти повышенной пищевой ценности. Для обеспечения повышения содержания полноценных белков в изделии использована мука высокобелковая из подсолнечного шрота. Представлены данные об аминокислотном составе муки высокобелковой из подсолнечного шрота. Показана возможность использования ценного пищевого ингредиента – порошка из плодов рожкового дерева (кэроба) – в качестве замены какао порошка. Рассчитана пищевая ценность разработанных конфет, полученные результаты подтвердили эффективность подобранного рецептурного состава: разработанные изделия превосходят контрольный образец по содержанию белков в 1,5 раза, при одновременном снижении доли жира, углеводов и энергетической ценности. Анализ комплекса органолептических показателей свидетельствует о высоких вкусовых и ароматических свойствах разработанных конфет. Проведена оценка качества разработанных изделий по органолептическим и физико-химическим показателям в процессе хранения. Установлено, что разработанный состав, обеспечивает сохранность качества конфет на протяжении 12 месяцев.

Ключевые слова: кондитерские изделия, конфеты типа Ассорти, мука высокобелковая из подсолнечного шрота, кэроб, розмарин, пищевая ценность

Введение

Современный этап развития кондитерской отрасли характеризуется высокой степенью насыщенности рынка разнообразной продукцией. В этой связи совершенствование ассортимента изделий и улучшение их потребительских свойств весьма актуально и своевременно. Проблема увеличения срока годности кондитерских изделий также является одной из приоритетных в кондитерской промышленности.

Конфеты являются сложным, многокомпонентным продуктом и среди всех кондитерских изделий выделяются многообразием состава, технологий и ассортиментом готовой продукции.

Сегодня невозможно представить рынок кондитерских изделий без корпусных конфет с начинками. Жировые, кремовые и фруктово-ягодные начинки, джемы, конфитюры, желейные, шоколадные и сливочные наполнители повсеместно применяют для изготовления конфет типа Ассор-

ти. Благодаря этим начинкам они становятся не только вкусными, но и экономически более эффективными, что чрезвычайно важно в современных рыночных условиях.

Маркетинговые исследования на рынке конфет показывают, что уровень потребления шоколадной продукции в России динамично растет. Однако растут не только объемы потребления конфет, но и требования, которые предъявляют к ним российские покупатели. Традиционные критерии потребительского выбора (цена, вкус и качество) сегодня неотделимы от новой группы критериев: здоровье и здоровый образ жизни, безопасность и прозрачность (потребители хотят знать, что именно они потребляют).

При создании новых изделий специалисты кондитерской промышленности стремятся увеличить в них содержание белка как наиболее ценного и дефицитного компонента пищи и уменьшить количество углеводов.

Перспективным источником белковых веществ могут служить вторичные ресурсы растительного сырья, такие как шроты и жмыхи, образующиеся при производстве подсолнечного масла. Например, предложена рецептура затяжного печенья, обогащенного модифицированным белковым изолятом из подсолнечного жмыха (Воронова, Овчаров, 2015, С. 29–32). Доказана целесообразность использования подсолнечной муки, изготовленной из подсолнечного жмыха при производстве сдобного печенья (Гайсина, Козубаева, Кузьмина, 2017, с. 19–22).

Часть разработок направлена на совершенствование технологии хлебобулочных изделий, обогащенных белковым изолятом подсолнечного шрота, в результате получены новые хлебобулочные изделия повышенной биологической ценности из пшеничной муки (Щеколдина, 2014). Создана протеиновая паста из шрота подсолнечника, с высоким содержанием белка, рекомендована в производстве продуктов питания различной направленности (Щеколдина, 2019, с. 702–705). Продукты переработки подсолнечника предложены в качестве компонентов медицинского парентерального питания для пациентов с печеночной недостаточностью (Bautista, Corpas, Cremades, Hernández-Pinzón, Ramosa, Villanueva, Sánchez-Vioqueb, Clementeb, Pedrochea, Vioqueb, Parradoa, Millánb, 2000, p. 121–126).

Кэроб или плоды рожкового дерева, в измельченном виде может использоваться в самых раз-

нообразных продуктах питания. Кэроб является источником клетчатки, сахара, а также ряда биологически активных соединений, таких как полифенолы и пинитол (Nasar-Abbas, E.H.ma, Vu, Khan, Esbenshade, Jayasena, 2016, p.63–72), последний из которых обладает инсулиноподобным эффектом (Bates, Jones, Bailey, 2000, p. 1944–1948). Полифенолы, содержание которых в порошке из семян рожкового дерева составляет значительное количество, особенно дубильных веществ, обладают антиоксидантной активностью (Kumazawa, Taniguchi, Suzuki, Shimura, Kwon, Nakayama, 2002, p. 373–377; Youssef, El-Manfaloty, Ali, 2013, p. 304–308; Ayaz, Torun, Glew, Bak, Chuang, Presley, Andrews, 2009, p. 286–292).

Уникальные биологические свойства кэроба обусловлены наличием таких соединений, как галловая кислота, которая обладает антибактериальными, противовирусными и антиоксидантными свойствами и галактоманы - гетерополисахариды, состоящие из остатков галактозы и маннозы, способные связывать много воды (набухать) – в 17 раз больше собственной массы, в связи с чем используются в пищевой промышленности как стабилизаторы, загустители и желеобразующие факторы (Milek Dos Santos, Tomzack Tulio, Fuganti Campos, Ramos Dorneles, Hecke Krüger, 2014, p. 482–487; Custodio, Patarra, Albericio, Neng, Nogueira, Romano, 2015, p. 1–5).

Проведены работы по введению порошка кэроба в кисломолочное мороженое в совокупности с пробиотическими культурами (Guler-Akin, Goncu, Akin, 2016, p. 1010–1020), при внесении в йогурт кэроб обогащает его пищевыми волокнами и может служить заменителем лактозы для людей с нехваткой соответствующих пищевых ферментов (Moreira, Transfeld da Silva, Fagundes, Rodrigues Ferreira, Bileski Cândido, Passos, Hecke Krüger, 2016, p. 326–329).

Рассмотрена возможность замены какао-порошка кэробом в рецептурах сдобного печенья (Свинина, Чугунова, Кокорева, 2015, с. 192–195), бисквитных изделий (Кокорева, Крюкова, Мысаков, 2015, с. 70–74), в производстве шоколадных соусов (Свинина, Кокорева, 2015, с. 137–140) и топпингов (Чугунова, Свинина, 2016, с. 153–156) с целью расширения ассортимента, повышения пищевой ценности, а также снижения калорийности и себестоимости готовой продукции.

Результаты исследований (Свинина, Чугунова, 2016, с. 264–266) показали, что внедрение кэроба в производство мучных кондитерских изделий

позволяет значительно повысить качество изделий и восполнить недостаток организма незаменимыми аминокислотами, пищевыми волокнами, витаминами и микроэлементами. Аминокислотный состав порошка кэроба разной степени обжарки представлен в Таблице 1 (Свинина, 2016, с. 245–249).

Кэроб используется в изделиях, рекомендованных в питании больных сахарным диабетом, и другими заболеваниями, связанными с нарушением жиро-углеводного обмена, а также для людей с проблемным избыточным весом, так как не требует добавления сахара (либо сахарозаменителей) для получения сладкого вкуса (Кокорева, Свинина, 2014, с. 113–116).

Использование экстракта розмарина позволяет сохранить первоначальное качество пищевой продукции путем стабилизации процессов, лежа-

щих в основе развития прогоркания и осаливания жиров, на фоне проявления антиоксидантных свойств, тем самым способствуя увеличению срока годности (Наумова, 2015, с. 152–156).

В розмарине идентифицировано 25 элементов, из них преобладающие макро- калий, кальций, магний, натрий, фосфор и микроэлементы – алюминий, кремний и железо. Это подчеркивает терапевтическую значимость и возможность создания препаратов для лечения и профилактики ряда патологий, связанных с нарушением минерального обмена на основе розмарина. Розмарин также содержат дубильные вещества, флавоноиды, розмариновую, кофейную, никотиновую, урсоловую кислоты, аминокислоты. (Никитина, Тохсырова, Попова, 2017, с. 581–588)

Применение перечисленных ингредиентов в составе конфет позволит повысить их конкуренто-

Таблица 1

Аминокислотный состав порошка из кэроба разной степени обжарки, мг/100 г продукта

Аминокислота	Кэроб слабой обжарки		Кэроб средней обжарки		Кэроб сильной обжарки	
	мг	%	мг	%	мг	%
Незаменимые аминокислоты:						
Треонин	162.41	6.36	141.01	6.55	99.53	5.46
Валин	259.48	10.16	198.78	9.23	185.53	10.18
Метионин	21.16	0.83	15.85	0.74	7.93	0.43
Изолейцин	140.69	5.51	96.61	4.49	105.39	5.78
Лейцин	236.57	9.26	182.74	8.49	149.52	8.20
Фенилаланин	115.91	4.54	99.59	4.63	130.23	7.15
Лизин	81.53	3.19	35.23	1.64	35.23	1.93
Заменимые аминокислоты:						
Аспарагиновая кислота	290.46	11.37	274.83	12.77	206.12	11.31
Серин	210.22	8.23	171.78	7.98	143.15	7.85
Глутаминовая кислота	294.98	11.55	372.87	17.32	276.20	15.15
Пролин	215.63	8.44	161.52	7.50	80.76	4.43
Глицин	161.61	6.33	154.88	7.19	128.18	7.03
Аланин	153.14	5.99	119.93	5.57	93.86	5.15
Цистин	16.05	0.63	4.51	0.21	9.02	0.49
Тирозин	61.31	2.40	82.67	3.84	110.23	6.05
Гистидин	51.16	2.00	21.55	1.00	43.11	2.37
Аргинин	82.70	3.24	18.58	0.86	18.58	1.02

способность с целью предотвращения вытеснения продукции аналогами.

Цель работы – разработка рецептурного состава конфет типа Ассорти, обеспечивающего повышение пищевой ценности и вкусовых свойств изделий.

Для реализации поставленной цели решались следующие задачи:

- разработать рецептурный состав конфет типа Ассорти повышенной биологической ценности с использованием нетрадиционных видов растительного сырья;
- провести оценку качества разработанных изделий по органолептическим и физико-химическим показателям в процессе хранения и установить их срок годности.

Материалы и методы исследований

Материалы

Для приготовления опытных образцов конфет типа Ассорти использовали следующие виды сырья:

1. Мука высокобелковая из подсолнечного шрота пищевая (ООО «ОЗРКД Биотех-про»), представляет собой функциональный продукт глубокой биотехнологической переработки шрота подсолнечника, имеет приятный вкус и запах, нейтральный цвет, изготовлена в соответствии с ТУ 10.41.42-001-10152018-2019 «Мука высокобелковая из подсолнечного шрота пищевая «Биопротен». Технические условия». Данная мука содержит белка 45–48%, рекомендуется для использования в мясной, хлебопекарной, кондитерской и комбикормовой промышленности.¹
2. Порошок из плодов рожкового дерева *Caruma 60* (сильная обжарка) (ООО ТрансКэрб Рус»). Изготовлено по ТУ 01 13-23-004-2993295-2017.
3. Растительный экстракт «Экстракт розмарина NovaSOL Rosemary (EW0110C45/1)» представляет собой солюбилизат 15,0%-ного экстракта розмарина (содержание карнозиновой кислоты не менее 6,0%) – вязкую, темно-корич-

невую с оливковым оттенком маслянистую жидкость с характерным запахом.

Методы и процедура исследования

Внесение экстракта розмарина в рецептуру конфет проводили исходя из рекомендуемых норм предприятия-производителя, в результате количество вносимого экстракта розмарина составило 0,1% к массе готового продукта.

Контрольным образцом являются конфеты типа Ассорти, выпускаемые на кондитерском предприятии «СлаСти» г. Тольятти.

Контрольные и экспериментальные образцы конфет типа Ассорти, приготовленные в лабораторных условиях, исследовали по органолептическим и физико-химическим показателям.

Органолептическую оценку образцов проводили с помощью баллового метода, для которого была разработана 20-балловая шкала. Так же для органолептической оценки использовали количественный описательный метод с отобранными дескрипторами вкуса, запаха и консистенции.

Перекисное число определяли согласно методике МИ 2586-2000 «Перекисное, кислотное и йодное число жира в кондитерских изделиях. Методики выполнения измерений»². Метод основан на взаимодействии перекисей, содержащихся в жире, с йодистым калием в присутствии ледяной уксусной кислоты с выделением йода и последующим титрованием раствором тиосульфата натрия.

Активность воды (A_w) измеряли на приборе «AquaLab Pre» (Decagon Devices, Inc., Pullman, Washington, USA. AquaLab Pre использует для определения коэффициента активности воды метод охлажденного зеркала. Активность воды (A_w) находили как отношение парциального давления водяного пара над поверхностью продукта к давлению насыщенного водяного пара при той же температуре.

Микробиологические показатели исследовали в соответствии с требованиями СанПиН 2.3.2.1078-01³ по общепринятым методикам.

¹ Способ получения высокобелковых растительных продуктов, преимущественно крупки, из шрота/жмыха подсолнечника и устройство для его осуществления: пат. 2602841 Рос. Федерация № 2015102735/13 / Гайдуков И.П., Елисеев А.Н., Кандрюков Р.Х.; заявл. 28.01.2015; опубл. 20.11.2016. Бюл. № 32.

² МИ 2586-2000. Перекисное, кислотное и йодное число жира в кондитерских изделиях. Методики выполнения измерений. М.: ВНИИМС, 2000. 15 с.

³ СанПиН 2.3.2.1078-01 Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов [Электронный ресурс]. U.L. <http://docs.cntd.ru/document/901806306> (дата обращения: 10.10.2020).

Содержание сырого протеина в муке высокобелковой из подсолнечного шрота определяли методом Кьельдаля, сырой золы - минерализацией при 500–525°C, углеводов – фенолсерным методом, концентрацию редуцирующих веществ и полисахаридов – методом Бертрана-Шорля, и сухих веществ – термогравиметрическим методом, сырого жира – методом экстрагирования гексаном. Концентрацию белковых веществ в растворах определяли методом Кьельдаля. Определение содержания минеральных веществ – методом ИСП-АЭС.

Аминокислотный состав муки высокобелковой из подсолнечного шрота определяли методом капиллярного электрофореза на анализаторе «Капель 103Р». Метод капиллярного электрофореза основан на разделении заряженных компонентов сложной смеси в кварцевом капилляре под действием приложенного электрического поля.

Анализ

Представленные в работе данные отражают усреднённые величины с расчётом стандартных отклонений для вероятности $P > 0,95$. Обработку экспериментальных данных и их графическое представление проводили с использованием пакета программ «Microsoft Office 2016».

Результаты и их обсуждение

Обоснованием ингредиентов для производства продуктов повышенной пищевой ценности является информация о составе исходных компонентов. Проведены исследования по установлению пищевой и биологической ценности муки высокобелковой из подсолнечного шрота (Таблица 2).

Таблица 3

Аминокислотный состав муки высокобелковой из подсолнечного шрота, г/100г белка

Незаменимые аминокислоты	Показатель	Заменимые аминокислоты	Показатель
Гистидин	0.63	Аланин	1.93
Изолейцин	1.78	Аргинин	3.66
Лейцин	2.97	Аспарагиновая кислота	3.95
Лизин	1.64	Цистеин	0.63
Метионин	0.95	Глютаминовая кислота	9.14
Фенилаланин	2.08	Глицин	2.55
Треонин	1.62	Пролин	1.94
Триптофан	0.56	Серин	1.82
Валин	2.38	Тирозин	1.28

Таблица 2

Качественный состав муки высокобелковой пищевой по средним значениям выборок

Показатели образца продукта	Содержание, %
Влага, %	9.90
Сухое вещество, %	90.10
Минералы	
Зола, в.т.ч.	9.44
Кальций	0.49
Фосфор	1.33
Магний	0.77
Калий	1.93
Сера	0.62
Протеин	40.55
Жиры	1.31
Углеводы	38.80

Полученные результаты свидетельствуют, что аминокислотный состав муки высокобелковой из подсолнечного шрота отличается наличием всех незаменимых аминокислот, высоким содержанием глютаминовой и аспарагиновой кислот, аргинина, а также глицина, аланина, пролина, серина и тирозина (Таблица 3).

В ходе исследований проведена дегустация контрольных образцов конфет, начинки и кондитерской глазури, предоставленных производителем. По результатам дегустации полуфабрикаты и готовые изделия признаны чрезмерно сладкими, без выраженного характерного шоколадного вкуса в массе для формирования корпуса и молочного

вкуса в начинке. Обе массы характеризовались неприятным привкусом жира.

Полученные данные позволили определить направление дальнейших исследований. Учитывая поставленную задачу, подобраны сырьевые компоненты, которые предположительно могли улучшить вкусовые характеристики полуфабрикатов и готового изделия, и с их применением изготовлены экспериментальные образцы кондитерской глазури, начинки и конфет (Таблица 4).

При производстве экспериментальной кондитерской глазури осуществляли замену части какао-порошка по массе на порошок из плодов рожкового дерева в соотношении 1:2. За счет введения в начинку муки высокобелковой из подсолнечного шрота снизили содержание в рецептурном составе начинки кокосового масла на 32%, сахара на 12% и молока сухого обезжиренного на 12%. Экстракт розмарина ввели в рецептурный состав как глазури, так и начинки.

Рассчитана пищевая ценность разработанных конфет типа Ассорти, полученные результаты подтвердили эффективность подобранного состава сырья: повышение содержания белков в готовом продукте 6,0% (Таблица 5). Сравнительный анализ пищевой ценности контрольного и экспериментального образцов конфет показал, что разработанные изделия превосходят контрольный образец по содержанию белков в 1,5 раза, при одновременном снижении доли жира, углеводов и энергетической ценности (Таблица 5).

Анализ комплекса органолептических показателей свидетельствует о значительном улучшении вкуса и запаха разработанных конфет типа Ассорти. Отмечено, что введение в начинку муки высокобелковой из подсолнечного шрота повлияло на органолептические показатели конфет, появился приятный халвичный вкус. Контрольный образец отличался излишней сладостью, а также плохо таящей консистенцией, таяние начинки происходило быстрее, чем глазури.

Таблица 4
Состав контрольных и разработанных кондитерской глазури, начинки и конфет типа Ассорти

Изделие	Состав	
	контроль	эксперимент
Кондитерская глазурь	сахар, жир лауриновый, какао-порошок, кокосовое масло, соль пищевая, лецитин, ароматизатор «Ванилин»	сахар, жир лауриновый, кокосовое масло, порошок из плодов рожкового дерева, какао-порошок, лецитин, соль пищевая, ароматизатор «Швейцарский шоколад», ароматизатор «Апельсин», ароматизатор ванилин, экстракт розмарина
Начинка	сахар, масло кокосовое, молоко сухое обезжиренное, лецитин, соль	сахар, масло кокосовое, мука высокобелковая из подсолнечного шрота, молоко сухое обезжиренное, лецитин, соль пищевая, ароматизатор «Миндаль», ароматизатор «Карамель», экстракт розмарина
Конфета	сахар, кокосовое масло, жир лауриновый, молоко сухое обезжиренное, какао-порошок, соль пищевая, лецитин, ароматизатор «Ванилин»	сахар, кокосовое масло, жир лауриновый, мука высокобелковая из подсолнечного шрота, молоко сухое обезжиренное, порошок из плодов рожкового дерева, какао-порошок, лецитин, соль пищевая, ароматизатор «Швейцарский шоколад», ароматизатор «Миндаль», экстракт розмарина, ароматизатор «Апельсин», ароматизатор «Ванилин», ароматизатор «Карамель»

Таблица 5
Содержание основных питательных веществ в конфетах типа Ассорти

Содержание, г на 100 г	Конфеты	
	контроль	эксперимент
белки	4.0	6.0
жиры	35.0	31.0
углеводы	57.0	55.0
Энергетическая ценность, ккал/кДж	540/2263	530/2221

Объекты исследовали в течение 12 месяцев хранения. Заявленный срок годности контрольного образца составляет 6 месяцев. Однако после 4 месяцев хранения у контрольного образца появились посторонний и нечистый вкус, признаки прогорклости, экспериментальные образцы обладали высокими вкусовыми свойствами в течение всего срока хранения.

Устойчивость конфет к длительному хранению изучали, анализируя изменения значений перекисных чисел. Отмечено, что окислительные процессы при хранении экспериментальных конфет протекали медленнее по сравнению с контрольными образцами (Таблица 6).

Результаты показывают, что и в конце хранения экспериментальных конфет значения перекисного числа не превысило установленных норм. Динамика органолептических показателей также подтвердила устойчивость данного образца к окислению. Таким образом, очевиден факт, что содержание в конфетах комплекса натуральных антиоксидантов (входящих в состав порошка из плодов рожкового дерева и экстракта розмарина), оказывают ингибирующее действие на накопление продуктов окисления.

На продолжительность хранения пищевых продуктов определяющее влияние оказывают содержание и состояние в них влаги. В последнее время для характеристики пищевых продуктов широко используют показатель «активность воды» (A_w), который

характеризует энергию связи влаги во влажном материале. В С.А и странах Е.С. активность воды является обязательным показателем безопасности и качества для большинства пищевых продуктов. От величины активности воды зависит кинетика микробиологических и биохимических процессов, в том числе и отвечающих за порчу пищевых продуктов. Как правило, их интенсивность уменьшается при понижении активности воды. Этот показатель определяет ход и направление массообменных процессов между продуктом и окружающей средой, влияет на структурно-механические свойства готовых изделий. (Фатьянов, 2011, с. 61–62)

Определена активность воды в кондитерской глазури, начинках и конфетах типа Ассорти контрольных и экспериментальных образцов (Рисунок 1).

Как видно из представленных данных, по активности воды конфеты относятся к продуктам с низкой влажностью $A_w < 0,6$. Чем выше A_w в продукте, тем наиболее вероятна жизнедеятельность тех или иных видов микрофлоры. В продуктах с низкой влажностью микробиологические процессы не протекают, они сохраняют свои качества длительное время, что подтверждает реальность увеличения срока хранения экспериментального продукта.

Основой санитарно-эпидемиологического обоснования сроков годности пищевых продуктов является проведение микробиологических санитарно-химических и органолептических исследований. Наиболее важной частью экспертизы являются ми-

Таблица 6
Изменение перекисного числа в образцах в процессе хранения

Образец	Перекисное число, ммоль $\frac{1}{2}O_2$ /кг масла												
	Продолжительность хранения, мес.												
	Начало хранения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Контроль	0.28	0.31	0.40	1.01	1.30	2.10	1.91	2.30	2.10	2.40	2.80	2.50	2.90
Кондитерская глазурь (контроль)	0.17	0.21	0.28	0.44	0.57	0.51	0.55	0.52	0.59	0.90	1.01	1.50	1.70
Начинка (контроль)	0.13	0.25	0.19	0.56	0.52	0.56	0.50	0.61	0.55	0.80	1.02	1.30	1.50
Эксперимент	0.18	0.28	0.37	0.28	0.63	0.54	0.48	0.57	0.66	1.50	1.30	1.70	1.90
Кондитерская глазурь эксперимент	0.08	0.11	0.16	0.30	0.37	0.38	0.44	0.40	0.43	0.80	0.90	1.30	1.40
Начинка эксперимент	0.07	0.13	0.18	0.26	0.33	0.38	0.39	0.47	0.52	1.08	0.80	1.20	1.40

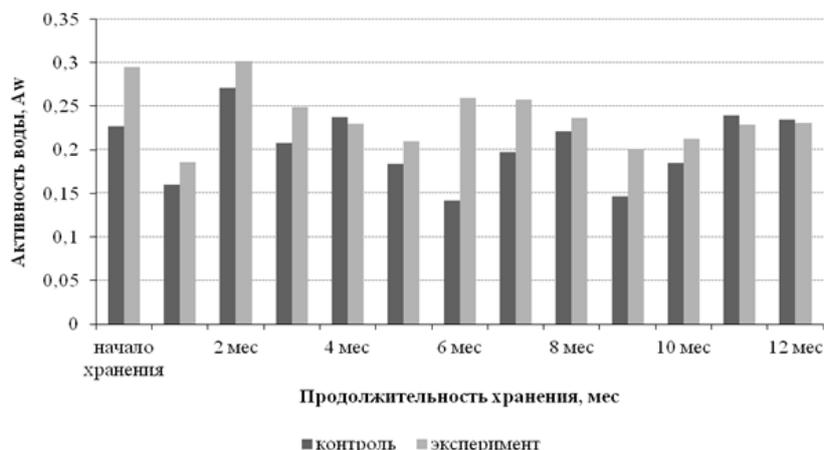


Рисунок 1. Изменение Aw в образцах конфет типа Ассорти в процессе хранения.

микробиологические исследования, результаты которых являются гарантией безопасности.

Безопасность экспериментальных изделий, в соответствии с СанПиН 2.3.2.1078–01, а также руководствуясь М.К.4.2.1847–04⁴, исследовали по контролю четырех групп микроорганизмов: количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) в К.Е.г, отсутствие бактерий группы кишечных палочек (БГКП) в определенном количестве продукта, количество плесневых грибов и дрожжей (ПГ и Д) в К.Е.г, отсутствие патогенных микроорганизмов, в т.ч. сальмонелл в 25 г продукта. Исследования показали, что эти показатели на конец хранения в соответствии с нормативом (Таблица 7).

Следовательно, принимая во внимание результаты органолептической оценки, физико-химических и микробиологических показателей, можно констатировать, что анализируемые образцы

экспериментальных конфет типа Ассорти могут сохранять свое качество в течение 12 месяцев хранения в стандартных условиях без проявления признаков порчи.

Выводы

Таким образом, обоснована целесообразность использования муки высокобелковой из подсолнечного шрота, порошка из плодов рожкового дерева и экстракта розмарина для разработки рецептурного состава кондитерских изделий, в частности конфет.

На основании проведенных исследований разработан рецептурный состав конфет типа Ассорти, способствующий повышению пищевой и биологической ценности продукта, улучшению органолептических характеристик и увеличению срока годности конфет.

Проведена оценка качества разработанных изделий по органолептическим и физико-химическим показателям в процессе хранения и установлен их срок годности. Разработанный состав, обеспечивает сохранность качества конфет типа Ассорти на протяжении 12 месяцев.

Литература

Воронова Н.С., Овчаров Д.В. Обогащение мучных кондитерских изделий модифицированным белковым изолятом из подсолнечного жмыха // Молодой ученый. 2015. № 5–1(85). с. 29–32.

Таблица 7
Микробиологические показатели экспериментальных конфет типа Ассорти

Срок хранения	БГКП, 0,1 г	КМАФАнМ, КОЕ/г	Плесени, К.Е.г	Дрожжи, КОЕ/г	Патогенные, в т.ч. сальмонеллы
Свежеизготовленные	н/о	<100	<10	<10	н/о
После хранения	н/о	<100	<10	<10	н/о

⁴ МУК 4.2.1847–04 Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов [Электронный ресурс]. U.L. <http://docs.cntd.ru/document/1200035982> (дата обращения: 10.10.2020).

- Гайсина В.А., Козубаева Л.А., Кузьмина С.С. Пищевая ценность сдобного печенья с подсолнечной мукой // Ползуновский Вестник. 2017. № 2. с. 19–22.
- Кокорева Л.А., Крюкова Е.В., Мысаков Д.С. Использование порошка кэроба при производстве мучных кондитерских изделий // Современные технологии продуктов питания: сборник научных статей материалы 2-й Международной научно-практической конференции. Курск: ЗАО «Университетская книга», 2015. с. 70–74.
- Кокорева Л.А., Свирина А.А. Кэроб – перспективная замена какао-порошка в пищевой промышленности и общественном питании // Инновационные технологии в сфере питания, сервиса и торговли: материалы очно-заочной научно-практической конференции. 2014. с. 113–116.
- Наумова Н.Л. Антиоксидантные свойства пищевой добавки novasol rosemary на примере сливочного масла // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2015. № 2. с. 152–156.
- Никитина А.С., Тохсырова З.М., Попова О.И. Элементный состав побегов розмарина лекарственного (*Rosmarinus officinalis* L.), интродуцированного в ботаническом саду Пятигорского медико-фармацевтического института // *Pharmacy & Pharmacology*. 2017. Т. 5, № 6. с. 581–588.
- Свирина А.А. Исследование пищевой ценности кэроба // Конкурентоспособность территорий: материалы XIX Всероссийского экономического форума молодых ученых и студентов. Екатеринбург: Институт торговли, пищевых технологий и сервиса, 2016. Ч. 2. с. 245–249.
- Свирина А.А., Кокорева Л.А. Кэроб – функциональный пищевой ингредиент // Потребительский рынок Евразии: современное состояние, теория и практика в условиях Евразийского экономического союза и ВТО: сборник статей III Международной научно-практической конференции. Екатеринбург: Институт торговли, пищевых технологий и сервиса, 2015. с. 137–140.
- Свирина А.А., Чугунова О.В. Пищевая ценность и перспективные направления использования кэроба // Международная научно-практическая конференция, посвященная памяти Василия Матвеевича Горбатова. М.: ФНЦПС им. В.М. Горбатова «РАН», 2016. Ч. 1. с. 264–266.
- Свирина А.А., Чугунова О.В., Кокорева Л.А. Исследование возможности применения кэроба в производстве сдобного печенья // Туризм: гостеприимство, спорт, индустрия питания: Материалы Всероссийской научно-практической конференции. Сочи: Сочинский государственный университет, 2015. с. 192–195.
- Фатьянов Е.В. Активность воды молочных продуктов // Молочная промышленность. 2011. № 2. с. 61–62.
- Чугунова О.В., Свирина А.А. Разработка рецептур новых видов шоколадного топпинга // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2016. № 6(1). С.153–156.
- Щеколдина Т.В. Белковый изолят подсолнечника – перспективы использования для повышения биологической ценности хлебобулочных изделий. Краснодар: К.А., 2014. 164 с.
- Щеколдина Т.В. Создание протеиновой пасты из вторичных продуктов переработки подсолнечника // Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции: сборник статей по материалам V Муждународной научно-практической конференции, посвященной 15-летию кафедры технологии хранения и переработки животноводческой продукции Кубанского Г.У. Краснодар: КубГАУ, 2019. с. 702–705.
- Ayaz F.A., Torun H., Glew R.H., Bak Z.D., Chuang L.T., Presley J.M., Andrews R. Nutrient content of carob pod (*Ceratonia siliqua* L.) flour prepared commercially and domestically // *Plant Foods for Human Nutrition*. 2009. Vol. 64. P. 286–292. <https://doi.org/10.1007/s11130-009-0130-3>
- Bates S.H., Jones R.B., Bailey C.J. Insulin - like effect of pinitol // *British Journal of Pharmacology*. 2000. Vol. 130, issue 8. P. 1944–1948. <https://doi.org/10.1038/sj.bjp.0703523>
- Bautista J, Corpas R., Cremades O., Hernández-Pinzón I., Ramosa R., Villanuevab A., Sánchez-Vioqueb R., Clementeb A., Pedrochea J., Vioqueb J., Parradoa J., Millánb F. Sunflower protein hydrolysates for dietary treatment of patients with liver failure // *Journal of the American Oil Chemists' Society*. 2000. Vol. 77, no 2. P. 121–126.
- Custodio L., Patarra J., Albericio F., Neng N.R., Nogueira J.M.F., Romano A. In vitro antioxidant and inhibitory activity of water decoctions of carob tree (*Ceratonia siliqua* L.) on cholinesterases, α -amylase and α -glucosidase // *Natural Product Research*. 2015. Vol. 29, issue 22. P. 1–5. <https://doi.org/10.1080/14786419.2014.996147>
- Guler-Akin M.B., Goncu B., Akin M.S. Some properties of probiotic yoghurt ice cream supplemented with carob extract and whey powder // *Advances in Microbiology*. 2016. Vol. 6, no. 14. P. 1010–1020. <https://doi.org/10.4236/aim.2016.614095>
- Kumazawa S., Taniguchi M., Suzuki Y., Shimura M., Kwon M.S., Nakayama T. Antioxidant activity of polyphenols in carob pods // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2002. Vol. 50, issue 2. P. 373–377. <https://doi.org/10.1021/jf010938r>
- Milek Dos Santos L., Tomzack Tulio L., Fuganti Campos L., Ramos Dorneles M., Carneiro Hecke Krüger

- C. Glycemic response to carob (*Ceratonia siliqua* L.) in healthy subjects and with the in vitro hydrolysis index // *Nutricion Hospitalaria*. 2014. Vol. 31, issue 1. P. 482–487. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.1.8011>
- Moreira T.C., Transfeld da Silva A., Fagundes C., Rodrigues Ferreira S.M., Bileski Cândido L.M., Passos M., Hecke Krüger C.C. Elaboration of yogurt with reduced level of lactose added of carob (*Ceratonia siliqua* L.) // *L.T. Food Science and Technology*. 2017. Vol 76, part B. P. 326–329. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.033>
- Nasar-Abbas S.M. E-Huma Z., Vu T.H., Khan M.K., Esbenshade H., Jayasena V. Carob kibble: a bioactive-rich food ingredient // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2016. Vol. 15, issue 1. P. 63–72. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12177>
- Youssef M.K.E., El-Manfaloty M.M., Ali H.M. Assessment of proximate chemical composition, nutritional status, fatty acid composition and phenolic compounds of carob (*Ceratonia siliqua* L.) // *Food and Public Health*. 2013. Vol. 3, no. 6. P. 304–308. <https://doi.org/10.5923/j.fph.20130306.06>

Development of Sweets of the Assorty Type Increased Nutritional Value and Shelf Life

Manana E. Tkeshelashvili

*Plekhanov Russian University of Economics
36, Stremyanny lane, Moscow, 117997, Russian Federation
E-mail: mananatk@yandex.ru*

Galina A. Bobozhonova

*Plekhanov Russian University of Economics
36, Stremyanny lane, Moscow, 117997, Russian Federation
E-mail: batay96@mail.ru*

Anna V. Sorokina

*Plekhanov Russian University of Economics
36, Stremyanny lane, Moscow, 117997, Russian Federation
E-mail: anna773@yandex.ru*

Current tendency that form a healthy diet, dictate the need to create food products including confectionery, characterized by high nutritional value. The use of non-traditional types of raw materials in the manufacture of confectionery can help to increase the content of complete proteins and micronutrients in them. The purpose of the study is the development of the formula composition of sweets of the Assorty type, providing an increase of the nutritional qualities and flavor properties of products. The work is performed at the scientific research institute of «Food security» and the department of commodity science and commodity expertise of Plekhanov Russian University of Economics. Based on the laboratory tests, the composition of the components in the formula of sweets of the Assorty type of increased nutritional qualities was selected. High-protein flour from sunflower shrot was used to provide a high protein content in the product. The data of the amino acid composition of high-protein flour from sunflower shrot are presented. The possibility of using a valuable food ingredient - powder from carob beans (carob) - as a substitute for cocoa solids has been shown. The nutritional qualities of the developed sweets was calculated, the obtained results confirmed the efficiency of the selected formula composition: the developed products exceed the control sample by 1.5 times in protein content, while reducing the fraction of fat, carbohydrates and caloric content. The analysis of the complex of organoleptic indicators points to the high flavor and aroma properties of the developed sweets. The quality control of the developed products was conducted by organoleptic and physico-chemical indicators during storage. It is established that the developed composition provides the quality safety of sweets for 12 months.

Keywords: *confectionery, sweets of the Assorty type, high-protein flour from sunflower, carob, rosemary, nutritional value*

Reference

- Voronova N.S., Ovcharov D.V. Obogashchenie muchnykh konditerskikh izdelii modifitsirovannym belkovym izolyatom iz podsolnechnogo zhmykha [Enrichment of flour confectionery products with a modified protein isolate from sunflower meal]. *Molodoi uchenyi [Young scientis]*, 2015, no. 5–1(85), pp. 29–32.
- Gaisina V.A., Kozubaeva L.A., Kuz'mina S.S. Pishchevaya tsennost' sдобного pechen'ya s podsolnechnoi mukoi [Nutrition value of butter cookie with sunflower flour]. *Polzunovskii Vestnik [Polzunovsky Bulletin]*, 2017, no. 2, pp. 19–22.
- Kokoreva L.A., Kryukova E.V., Mysakov D.S. Ispol'zovanie poroshka keroba pri proizvodstve muchnykh konditerskikh izdelii [The use of carob powder in the production of flour confectionery]. In *Sovremennyye tekhnologii produktov pitaniya: sbornik nauchnykh statei materialy 2 Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [Modern food technologies: Proceedings of the 2nd International scientific and practical conference]*. Kursk: Z.O.«Universitetskaya kniga», 2015, pp. 70–74.
- Kokoreva L.A., Svinina A.A. Kerob – perspektivnaya zamena kakao-poroshka v pishchevoi promyshlennosti i obshchestvennom pitanii Carob is a prospective replacement of cocoa solids in the food industry and mass catering]. In *Innovatsionnyye tekhnologii v sfere pitaniya, servisa i trgovli: materialy ochno-zaochnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [Innovative technologies in the field of food,*

- service and trade: Proceedings of the intramural scientific and practical conference*], 2014, pp. 113–116.
- Naumova N.L. Antioksidantnye svoistva pishchevoi dobavki novasol rosemary na primere slivochnogo masla [Antioxidant properties of the nutrient additive novasol rosemary as an example of butter]. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Altai state agricultural university], 2015, no. 2, pp. 152–156.
- Nikitina A.S., Tokhsyrova Z.M., Popova O.I. Elementnyi sostav pobegov rozmarina lekarstvennogo (*Rosmarinus officinalis* L.), introdutsirovannogo v botanicheskom sadu Pyatigorskogo mediko-farmatsevticheskogo institute [Elemental composition of rosemary shoots officinalis (*Rosmarinus officinalis* L.), introduced in the botanical garden of Pyatigorsk medico-pharmaceutical institute]. *Pharmacy & Pharmacology*, 2017, vol. 5, no. 6, pp. 581–588.
- Svinina A.A. Issledovanie pishchevoi tsennosti keroba [Research of carob nutritional value]. In *Konkurentosposobnost' territorii: materialy X.X.Vserossiiskogo ekonomicheskogo foruma molodykh uchenykh i studentov* [Competitiveness of Territories: Proceedings of the 19th All-Russian Economic Forum of Young Scientists and Students]. Ekaterinburg: Institut torgovli, pishchevykh tekhnologii i servisa, 2016. Part 2, pp. 245–249.
- Svinina A.A., Kokoreva L.A. Kerob – funktsional'nyi pishchevoi ingredient [Carob is a functional food ingredient]. In *Potrebitel'skii rynek Evrazii: sovremennoe sostoyanie, teoriya i praktika v usloviyakh Evraziiskogo ekonomicheskogo soyuza i V.O. sbornik statei I.I.Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [The consumer market of Eurasia: the current state, theory and practice in the conditions of the Eurasian Economic Union and the W.O. Proceedings of the 3rd International scientific and practical conference]. Ekaterinburg: Institut torgovli, pishchevykh tekhnologii i servisa, 2015, pp. 137–140.
- Svinina A.A., Chugunova O.V. Pishchevaya tsennost' i perspektivnye napravleniya ispol'zovaniya keroba [Nutritional value and promising directions of carob usage]. In *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, posvyashchennaya pamyati Vasiliya Matveevicha Gorbatova* [International scientific and practical conference dedicated to the memory of Vasily Matveevich Gorbatov]. Moscow: F.T.PS im. V.M. Gorbatova «RAN», 2016. Part. 1, pp. 264–266.
- Svinina A.A., Chugunova O.V., Kokoreva L.A. Issledovanie vozmozhnosti primeneniya keroba v proizvodstve sdobnogo pechen'ya [Research of the possibility of using carob in the production of butter cookie]. In *Turizm: gostepriimstvo, sport, industriya pitaniya: Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Tourism: hospitality, sports, food industry: Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference]. Sochi: Sochinskii gosudarstvennyi universitet, 2015, pp. 192–195.
- Fat'yanov E.V. Aktivnost' vody molochnykh produktov [Water activity of milk food]. *Molochnaya promyshlennost'* [Dairy industry], 2011, no. 2, pp. 61–62.
- Chugunova O.V., Svinina A.A. Razrabotka retseptur novykh vidov shokoladnogo toppinga [Formulation of new types of chocolate topping]. *Mezhdunarodnyi zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk* [International Journal of Humanities and Natural Sciences], 2016, no. 6(1), pp. 153–156.
- Shchekoldina T.V. Belkovyi izolyat podsolnechnika – perspektivy ispol'zovaniya dlya povysheniya biologicheskoi tsennosti khlebobulochnykh izdelii [Sunflower protein isolate and its prospects for increasing the biological value of bakery products]. Krasnodar: K.A., 2014. 164 p.
- Shchekoldina T.V. Sozdanie proteinovoi pasty iz vtorichnykh produktov pererabotki podsolnechnika [Creation of protein paste from secondary products of sunflower processing]. In *Sovremennyye aspekty proizvodstva i pererabotki sel'skokhozyaystvennoi produktsii: sbornik statei po materialam V.M.zhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, posvyashchennoi 15-letiyu kafedry tekhnologii khraneniya i pererabotki zhivotnovodcheskoi produktsii Kubanskogo G.U.* [Modern aspects of the production and processing of agricultural products: Proceedings of articles on the proceedings of the 5th International Research-to Practice Conference dedicated to the 15th anniversary of the Department of Technology for Kuban State Agrarian University G.U.]. Krasnodar: KubGAU, 2019, pp. 702–705.
- Ayaz F.A., Torun H., Glew R.H., Bak Z.D., Chuang L.T., Presley J.M., Andrews R. Nutrient Content of Carob Pod (*Ceratonia Siliqua* L.) Flour Prepared Commercially and Domestically. *Plant Foods for Human Nutrition*, 2009, vol. 64, pp. 286–292. <https://doi.org/10.1007/s11130-009-0130-3>
- Bates S.H., Jones R.B., Bailey C.J. Insulin - Like Effect of Pinitol. *British Journal of Pharmacology*, 2000, vol. 130, issue 8, pp. 1944–1948. <https://doi.org/10.1038/sj.bjp.0703523>
- Bautista J, Corpas R., Cremades O., Hernández-Pinzón I., Ramosa R., Villanuevab A., Sánchez-Vioqueb R., Clementeb A., Pedrochea J., Vioqueb J., Parradoa J., Millánb F. Sunflower Protein Hydrolysates for Dietary Treatment of Patients

- with Liver Failure. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 2000, vol. 77, no 2, pp. 121–126.
- Custodio L., Patarra J., Albericio F., Neng N.R., Nogueira J.M.F., Romano A. In Vitro Antioxidant and Inhibitory Activity of Water Decoctions of Carob Tree (*Ceratonia siliqua* L.) on Cholinesterases, A.A.ylase and A.G.ucosidase. *Natural Product Research*, 2015, vol, 29, issue 22, pp. 1–5. <https://doi.org/10.1080/14786419.2014.996147>
- Guler-Akin M.B., Goncu B., Akin M.S. Some Properties of Probiotic Yoghurt Ice Cream Supplemented with Carob Extract and Whey Powder. *Advances in Microbiology*, 2016, vol. 6, no. 14, pp. 1010–1020. <https://doi.org/10.4236/aim.2016.614095>
- Kumazawa S., Taniguchi M., Suzuki Y., Shimura M., Kwon M.S., Nakayama T. Antioxidant Activity of Polyphenols in Carob Pods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2002, vol. 50, issue 2, pp. 373–377. <https://doi.org/10.1021/jf010938r>
- Milek Dos Santos L., Tomzack Tulio L., Fuganti Campos L., Ramos Dorneles M., Carneiro Hecke Krüger C. Glycemic Response to Carob (*Ceratonia siliqua* L.) in Healthy Subjects and with the in Vitro Hydrolysis Index. *Nutricion Hospitalaria*, 2014, vol. 31, issue 1, pp. 482–487. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.1.8011>
- Moreira T.C., Transfeld da Silva A., Fagundes C., Rodrigues Ferreira S.M., Bileski Cândido L.M., Passos M., Hecke Krüger C.C. Elaboration of Yogurt with Reduced Level of Lactose Added of Carob (*Ceratonia Siliqua* L.). *L.T.- Food Science and Technology*, 2017, vol 76, part B, pp. 326–329. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.033>
- Nasar-Abbas S.M. E-Huma Z., Vu T.H., Khan M.K., Esbenshade H., Jayasena V. Carob Kibble: A Bioactive-Rich Food Ingredient. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2016, vol. 15, issue 1, pp. 63–72. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12177>
- Youssef M.K.E., El-Manfaloty M.M., Ali H.M. Assessment of Proximate Chemical Composition, Nutritional Status, Fatty Acid Composition and Phenolic Compounds of Carob (*Ceratonia Siliqua* L.). *Food and Public Health*, 2013, vol. 3, no. 6, pp. 304–308. <https://doi.org/10.5923/j.fph.20130306.06>

Определение рациональных технологических параметров работы барабанного смесителя непрерывного действия при получении безглютеновой мучной смеси

Резниченко Ирина Юрьевна

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»
Адрес: 650043, г. Кемерово, ул. Красная, дом 6.
E-mail: irina.reznichenko@gmail.com

Бородулин Дмитрий Михайлович

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»
Адрес: 650043, г. Кемерово, ул. Красная, дом 6.
E-mail: borodulin_dmitri@list.ru

Шафрай Антон Валерьевич

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»
Адрес: 650043, г. Кемерово, ул. Красная, дом 6.
E-mail: shafraia@mail.ru

Пикулина Наталья Сергеевна

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»
Адрес: 650043, г. Кемерово, ул. Красная, дом 6.
E-mail: n-pikulina@mail.ru

Потапова Марина Николаевна

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»
Адрес: 650043, г. Кемерово, ул. Красная, дом 6.
E-mail: potap-1962@list.ru

Шафрай Ольга Петровна

ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет»
Адрес: 650043, г. Кемерово, ул. Красная, дом 6.
E-mail: ilina18.92@mail.ru

Недостаточно широкий ассортимент отечественных мучных кондитерских изделий специализированного питания, представленный на потребительском рынке региона Кузбасс, в том числе безглютеновых продуктов, и рост спроса на данную продукцию определяет необходимость удовлетворения требований покупателей путем расширения ассортимента и внедрения инновационных технологий производства. Актуальность разработки безглютеновых (БГ) продуктов не вызывает сомнений, так как количество людей с непереносимостью глютена возрастает ежегодно и удовлетворение потребительского спроса является важной задачей. Также среди основных задач находится не только разработка рецептур смесей, но и подбор технологических режимов и параметров их получения для практической реализации результатов в промышленном производстве. В статье приведены результаты исследований по получению однородной безглютеновой мучной смеси на барабанном смесителе непрерывного действия. Мучная смесь предназначена для производства мучных кондитерских изделий, не содержащих в своем составе глютен. Для экспериментального исследования процесса смешивания безглютеновой смеси был выбран барабанный смеситель непрерывного действия с гладкой внутренней поверхностью барабана, без дополнительных перемешивающих устройств, и определены рациональные параметрами работы смесителя.

Значения показателей, описывающих неоднородность смеси получены с применением кондуктометрического метода химического анализа. Полученные результаты показали, что лучшее качество получаемой безглютеновой мучной смеси достигается при частоте вращения барабана 10 мин^{-1} и его коэффициенте заполнения 30%. Обработка результатов исследований проводилась с помощью методов множественной регрессии. Полученная регрессионная модель с достаточной точностью может применяться для предсказания качества получаемой БГ мучной смеси, поскольку среднее значение ее относительной погрешности не превышало 10% (Hurt, 1995).

Ключевые слова: безглютеновая мучная смесь, барабанный смеситель, коэффициент неоднородности, множественная регрессия, качество смешивания

Введение

Глютен (клейковина) – группа растительных белков фракции глютелинов и проламинов, содержащихся в таких злаковых культурах как рожь, овес, ячмень, тритикале. Глютеновая энтеропатия (целиакия) – аутоиммунное генетическое заболевание, характеризующееся нарушением пищеварительного тракта, вызванного повреждением, а в последствии атрофией ворсинок слизистой оболочки тонкого кишечника. В зависимости от формы заболевания, возникает аллергическая реакция, при попадании в организм продуктов питания содержащих глютен. Целиакия – заболевание мультифакторное, отличается сложностью диагностики, клиническим полиморфизмом, в тоже время частота встречаемости составляет 1–3% в Европе от численности населения. При этом установлено заболевание у 59% взрослого контингента, до 40% – в детской возрастной категории (Koning, 2008, p. 82–88; Bai, 2013, p. 121–126; Lionetti, Catassi, 2011, p. 219–231; Ludvigsson, Leffler, Bai, 2013, p. 43–52; Вохмянина, Вавилова, 2016, с. 132–136).

Лечение по профилактике и устранению целиакии связано с соблюдением пожизненной элиминации глютеносодержащих продуктов. При этом отмечено, что приверженность к диете остается довольно низкой, т.к. связана с изменением не только рациона, но и образа жизни. Большинство детей и взрослых испытывают трудности при формировании рациона, безглютеновые продукты питания, как правило, малодоступны (Юлдашева, Камилова, 2011, с.76–78; Лазебник, Ткаченко, Орешко, Ситкин, Карпов, Немцов, Осипенко, Радченко, Федоров, Медведева, Селиверстов, Соловьева, Шабанова, Журавлева, 2015, с. 3–12; Ткаченко, Орешко, Ситкин, Соловьева, Шабанова, Журавлева, 2015, с. 42–49; Ревнова, Романовская, 2017, с. 142–145; Парфенов, Быкова, Сабельникова, Маев, Баранов, Бакулин, Крумс, Бельмер, Боровик, Захарова, Дмитриева, Рославцева, Корниенко, Хавкин, Потапов, Ревнова, Мухина, Щербаков, Федоров, Белоусова, Хомерики, Ротин, Воробьева, Пивник, Гудкова, Чернин, Вохмянина, Пухликова, Дегтерёв, Дамулин, Мкртумян, Джулай, Тетруашвили,

Барановский, Назаренко, Харитонов, Лоранская, Сайфутдинов, Ливзан, Абрамов, Осипенко, Орешко, Ткаченко, Ситкин, Ефремов, Воробьева, 2017, с. 94–107). Учеными доказано, что соблюдение аглютеновой диеты приводит к выздоровлению с полным восстановлением структуры слизистой оболочки тонкой кишки у больных целиакией.

В 2017 году более 5% населения мира имели генетическую предрасположенность к данному заболеванию (Резниченко, Егорова, 2017, с. 164–171; Reznichenko, Chistyakov, Ustinova, Ruban, 2019). Соблюдение безглютеновой диеты за рубежом достаточно популярно, диеты придерживаются лица, не имеющим клинически подтвержденного диагноза, с целью профилактики целиакии и сопровождающих это заболевание симптомов. В связи с этим линейка безглютеновых продуктов, выпускаемых в странах Европы и Америки, разнообразна и включает готовый хлеб, пиццу, разнообразные мучные кондитерские (кексы, бисквиты, печенье и другие) и кулинарные (блинчики, оладьи) изделия, сухие смеси для их получения в домашних условиях, макаронные изделия и некоторые другие продукты. Надлежит отметить, что в последнее время в России развивается рынок продуктов питания функциональной и специализированной направленности, это касается и безглютеновых продуктов. Среди востребованных и популярных отмечены кондитерские изделия мучные, в том числе готовые мучные смеси для приготовления изделий в домашних условиях. Исследователями предложены мучные смеси для приготовления кексов, оладий на основе муки амарантовой, кунжутной, квиноа, проведена оценка качества и безопасности разработанных продуктов, на многие продукты разработана техническая документация (Бородулин, Резниченко, Пикулина, Комаров, 2018, с. 107–109; Резниченко, Рензязева, Табаторович, 2017, с. 149–162; Резниченко, Зоркина, Егорова, 2016, с. 4–7; Резниченко, Иванец, Алешина, 2013, с. 138–142; Резниченко, Чистяков, Рензязев Т.В., Рензязев А.О., 2019, с. 40–43; Егорова, Козубаева, 2018, с. 40–42; Егорова, Резниченко, 2018, с. 30–38; Егорова, Резниченко, 2018, с. 36–45; Домбровская, Сурмина, Закалюжный, 2017, с. 130–133; Щеколдина, Кудинов,

Вершинина, Христенко, 2018, с. 100–106; Пикулина, Резниченко, Бородулин, 2019, с. 187–188).

Зарубежными учеными предлагается использование других видов муки, не содержащей глютен, таких как мука из соевой окары в производстве хлеба (Lian, Luo, Gong, Zhang, Serventi, 2019, p. 805–812), мука чиа и каштановая мука в производстве мучных изделий (Moreira, Chenlo, 2012, p. 375–383), мука из сорго гибридов Fontanelle-625, Fontanelle-1000, ATx631xRTx2907 и 5040C в производстве тортильи (Winger, Houryieh, Aramouni, Herald, 2014, p. 95–106), мука из маниоки и банана в производстве макаронных изделий (Rachman, Brennan M.A., Morton, Brennan C.S., 2019), незрелая мука подорожника (UPF) для приготовления печенья (García-Solís, Bello-Pérez, Agama-Acevedo, Flores-Silva, 2017), порошок листьев брокколи в приготовлении бисквита (Krupa-Kozak, Drabińska, Rosell, Fadda, Anders, Jeliński, Ostaszyk, 2018, p. 1121–1129), смесь для приготовления хлеба в домашних условиях на основе муки киноа, теффа, лебеды (Rybicka, Doba, Binczak, 2019, p. 2661–2667). Всеми исследователями отмечено, что в настоящее время целиакия становится все более распространенной, растет спрос потребителей на продукты без глютена с высокими пищевыми и вкусовыми качествами.

В тоже время сдерживающим фактором выработки безглютеновых смесей является отсутствие технологической составляющей – параметров и режимов приготовления в промышленных условиях. Особенностью технологии производства многокомпонентной мучной смеси с заданным качеством является подбор смесительного оборудования и его параметров работы¹.

Исходя из этого целью настоящей работы являлось исследование барабанного смесителя при получении безглютеновой мучной смеси заданного качества, определение рациональных технологических параметров его работы на основе результатов анализа данных полученных экспериментально и при помощи уравнений регрессии.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Исследование работы барабанного смесителя при получении безглютеновых смесей заданного состава.
2. Проведение регрессионного анализа для определения зависимости качества получаемой без-

глютеновой мучной смеси от технологических параметров работы барабанного смесителя.

3. Сравнение численных значений качества безглютеновой мучной смеси, полученной экспериментально и при помощи уравнений регрессии.

Материалы и методы исследования

Объект

Объектом исследования являлась конструкция барабанного смесителя при получении многокомпонентной безглютеновой (БГ) мучной смеси.

Предметом исследования являлось установление закономерностей протекания процесса смешивания, выявление рациональных технологических параметров работы барабанного смесителя при получении БГ мучной смеси.

Методы и процедура исследования

Качество смешивания определяли по концентрации ключевого компонента (компонент наименьший по массе) в 30 пробах мучной смеси при помощи метода прямой кондуктометрии, который позволяет определять концентрацию электролита путем измерения электропроводности (Ivanets, Borodulin, Shushpannikov, Sukhorukov, 2015, p. 62–69).

Исследование экспериментальных данных было проведено с помощью программы Statistica 8, для чего использовались такие модули, как «Нелинейное оценивание», «Промышленная статистика» и «Общие регрессионные модели». Наилучшие статистические характеристики показала математическая модель, рассчитанная в модуле «Общие регрессионные модели», поэтому в дальнейшем исследовании принимала участие именно она.

Результаты и их обсуждение

Оценка качества основного сырья

Рецептуру смеси разрабатывали с учетом специализированной направленности продукта, современных научных данных о рекомендуемых нормах содержания глютена в данных видах специализированной продукции, рекомендаций

¹ Рынок безглютеновой продукции // Пищевая индустрия. 2017. № 1(31). с. 8–10.

по применению безглютеновых видов сырья, вкусовой совместимости рецептурных ингредиентов, пищевой ценности, показателей качества и безопасности, а также ценовой доступности.

В качестве основного сырья выбрана рисовая мука. Кроме отсутствия растительного белка глютена, используемая мука имеет ряд других положительных свойств, как для людей, имеющих аллергическую реакцию на глютен, так и для здоровой категории населения.

Химический состав рисовой муки включает витамины группы В (В₁, В₂), РР, белок, крахмал, пищевые волокна, минеральные вещества: калий, фосфор, кальций, железо.

Продукт хорошо усваивается организмом, широко используется в производстве детского питания. За счет нейтрального вкуса широко применяется в пищевой промышленности.

В Таблице 1 представлены физико-химические показатели качества рисовой муки согласно регламентированных требований (Резниченко, Бородулин, Пикулина, 2018, с. 120–123). Влажность и крупность помола влияют на подбор технологических параметров.

Представленные данные в Таблице 1 показывают, что рисовая мука соответствует требованиям и может использоваться в дальнейших исследованиях.

В Таблице 2 приведены данные по органолептическим показателям рисовой муки, включенной в мучную БГ смесь.

Органолептические показатели качества рисовой муки, представленные в Таблице 2, полностью соответствуют нормам ГОСТ 31645–2012 «Мука для продуктов детского питания. Технические условия»².

Таблица 1
Физико-химические показатели рисовой муки

Наименование показателя	Характеристика	
	По ГОСТ	Фактически
Массовая доля влаги, %, не более	12,0	9,8+ 0,3
Кислотность, градусы, не более	2,0	0,7+ 0,1
Кислотное число жира, мг К.Н. на 1 г жира	80,0	68,0+ 1,0
Зараженность и загрязненность вредителями	Не допускается	Не обнаружено
Металломагнитная примесь, мг на 1 кг муки	3,0	Отсутствует
Крупность помола, %	2,0	0,8
Остаток на сите №45, не более	–	90,0
Проход через сито №43, не менее	50,0	–

Таблица 2
Оценка органолептических показателей рисовой муки

Наименование показателя	По ГОСТ	Фактически
Внешний вид	Однородный сыпучий продукт с мелкими частицами оболочек	Однородный, сыпучий продукт
Цвет	Белый, белый с кремовым или желтоватым оттенком	Белый
Запах	Свойственный рисовой муке, без посторонних запахов, не затхлый, не плесневый	Свойственный рисовой муке, без посторонних запахов, не затхлый, не плесневый
Вкус	Свойственный рисовой муке, не кислый, не горький, без посторонних привкусов	Свойственный рисовой муке, не кислый, не горький, без посторонних привкусов

² ГОСТ 31645–2012. Мука для продуктов детского питания. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2013. 11 с.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что рисовая мука подходит для разработки мучной БГ смеси. Она имеет нейтральный вкус и запах, белый цвет и широко применяется в детском питании, благодаря своим органолептическим и физико-химическим свойствам.

Приготовление мучной смеси

Для приготовления безглютеновой мучной смеси необходимо использовать процесс смешивания сыпучих материалов. В промышленности, для проведения данного процесса, применяются различные виды смесителей: центробежные, вибрационные, барабанные (Бородулин, Шушпанников, Войтикова, 2012, с. 98–103).

Барабанные смесители (БС) характеризуются простой конструкцией, небольшим относительным расходом энергии, малым механическим воздействием на перемешиваемый материал.

Нами был выбран барабанный смеситель непрерывного действия (Патент РФ № 2508937)³, с гладкой внутренней поверхностью барабана, без дополнительных внутренних перемешивающих устройств. БС обладает низкой энергозатратностью, эффективностью смешивания, сохранением структуры смешиваемых компонентов при их соотношении в диапазоне от 1:10 до 1:40.

На Рисунке 1 представлен смесительный агрегат в состав, которого входил смесителя непрерывного действия (СНД) барабанного типа 3, рабочая камера которого приводилась в движение от электродвигателя 5. Компоненты мучной БГ смеси подаются в аппарат из порционных 2 и шнековых 1 дозаторов. Готовая смесь выгружается из барабана смесителя на ленточный транспортер 4, и далее движется на следующую технологическую стадию. Частота вращения всех аппаратов входящих в смесительный агрегат регулировалась при помощи пульта управления СА 6.

Исследования проводились на данном СА с установленным в инжиниринговом центре «FOOD ENGINEERING» кафедры «Технологическое проектирование пищевых производств» Кемеровского государственного университета.

При смешивании компонентов БГ мучной смеси варьировали следующие технологические параметры работы аппарата: частоту вращения бараба-

на (n ,) и коэффициент заполнения барабана (K ,%). Поскольку из внутренней части смесительного аппарата были удалены рециркулирующие устройства,

то для перемещения мучной смеси от загрузочного отверстия к разгрузочному, барабан был размещен под углом $\phi = 5^\circ$ к горизонту. Такие условия позволяют одновременно перемещаться и смешиваться компонентам БГ мучной смеси по внутренней поверхности барабана под действием сил гравитации, направляясь к выходному отверстию смесителя.

Качество смешивания определяли по концентрации ключевого компонента (пищевая соль) в 30 пробах мучной смеси при помощи кондуктометрического метода. Полученные числовые значения применяли для определения коэффициента неоднородности (V_c ,%) (Кошель, Костыря, 2017, с. 103–109).

Рисунок 1. Смесительный агрегат: 1 - шнековые дозаторы; 2 - порционные дозаторы; 3 - барабанный смеситель; 4 - ленточный транспортер; 5 - электродвигатель; 6 – пульт управления СА.

Коэффициент неоднородности смеси V_c рассчитывался исходя из однородности консистенции, которую определяли по величине вариации различных составляющих в ее составе. В общей сложности, для оценки гомогенности конгломерата применяется более двадцати оценок. Чаще всего, при изучении процесса смешения, отталкиваются от случайного характера распределения ингредиентов по объему конгломерата, а в качестве критерия оценки ее качества, используются параметры, описывающие распределение случайной величины. Этими параметрами являются дисперсия, среднее квадратическое отклонение, корреляционный момент, коэффициент вариации и другие. В настоящее время нет единого подхода к подбору определяющего параметра, описывающего качество конгломерата.

Наиболее рациональным считается использование математического ожидания (M), выборочной исправленной дисперсии (S^2) и выборочного исправленного среднее квадратическое отклонения (S) концентрации основного компонента в пробах конгломерата, рассчитываемых по формулам:

$$M = \bar{c} = \frac{1}{n} \sum_{(i=1)}^n c_i, \quad (1)$$

³ Барабанный смеситель: пат. 2508937 Рос. Федерация № 2012128003/05 / Иванец В.Н., Бородулин Д.М., Комаров С.С. ; заявл. 03.07.12 ; опубл. 10.03.14, Бюл. № 7. 5 с.

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2, \quad (2)$$

$$S = \sqrt{S^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2}, \quad (3)$$

где n – число проб, отобранных из смеси; c_i – массовая концентрация ключевого компонента в i -ой пробе; \bar{c} – средняя концентрация ключевого компонента в пробах.

Безразмерным параметром оценки однородности смеси, рассчитанным по этим величинам, является коэффициент вариации (неоднородности):

$$V_c = \frac{S}{\bar{c}} \cdot 100\% = \frac{1}{\bar{c}} \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (c_i - \bar{c})^2} \cdot 100\%. \quad (4)$$

Значения коэффициента неоднородности, в зависимости от технологических параметров работы барабанного смесителя, представлены в Таблице 3.

Из Таблицы 3 видно, что лучшее качество получаемой БГ мучной смеси достигается при частоте вращения барабана 10 мин^{-1} и его коэффициенте заполнения 30%. Это объясняется тем, что при данных технологических параметрах работы смесителя, компоненты смеси находятся дольше по времени в рабочей зоне аппарата, равномерно смешиваясь друг с другом. Коэффициент K , равный 30% способствует слоистому перемещению слоёв смеси друг относительно друга в поперечном сечении барабана. При увеличении частоты вращения барабана до 25 мин^{-1} и выше наблюдалось увеличение интенсивности смешивания компонентов смеси, однако значительно сокращалось время пребывания частиц в рабочей зоне аппарата, не зависимо от его коэффициента заполнения. Помимо этого, увеличение частоты вращения приводило к заметному увеличению эффекта проскальзывания рабочей поверхности барабана относительно компонентов БГ мучной смеси. Все это способствовало некоторому ухудшению получаемой смеси, о чем свидетельствуют полученные значения коэффициентов неоднородности.

Статистический анализ

Для решения второй поставленной задачи – проведения регрессионного анализа необходимо было установить степень зависимости, независимых исследуемых переменных, влияющих на качество многокомпонентной мучной БГ смеси, а так же получить регрессионную модель, которая

будет способна предсказывать коэффициент неоднородности в зависимости от технологических параметров работы БС.

За зависимый параметр приняли качество получаемой многокомпонентной БГ смеси, оцениваемое коэффициентом неоднородности V_c . Частота вращения ротора n и коэффициент заполнения барабана K , были приняты за независимые переменные.

В ходе статистического анализа данных, с помощью инструмента «Полиномиальная регрессия», выведена регрессионная модель, оценки которой приведены в Таблице 4.

Таблица 4
Оценки регрессионной модели

R	R ²	F	p
0,83925	0,70434	2,38229	0,21055

Коэффициент корреляции (R) имеет значение 0,83925, что указывает на сильную связь качества получаемой БГ мучной смеси с независимыми технологическими параметрами работы смесителя. Коэффициент детерминации (R^2), соответствующий величине 0,70434, иллюстрирует долю дисперсии коэффициента неоднородности V_c , объясняемую рассматриваемой моделью, и равной 70,434%. P -уровень находится на уровне 0,21055, он показывает вероятность того, что математическая модель является случайным совпадением для данной выборки.

Коэффициенты регрессионной модели приведены в Таблице 5.

Таблица 5
Коэффициенты модели

	Значение	t-критерий	p-уровень	β
Свободный член	16,333	2,47867	0,06830	–
n	0,333	0,95225	0,39489	1,51696
n^2	-0,007	-1,01160	0,36894	-1,61151
K	-1,008	-1,60809	0,18309	-3,06037
K^2	0,019	1,24602	0,28075	2,37131

Полученные значения критериев Стьюдента (t -критерий) и p -уровня имеют среднюю статистическую значимость этих коэффициентов. Аналогично оценены коэффициенты β , которые показывают степень чувствительности одной переменной (качество смешивания, определяемое

коэффициентом неоднородности V_c) к другим переменным (частота вращения барабана и коэффициент его заполнения). Анализ β коэффициентов показал, что наибольшее влияние на качество смешивания БГ мучных смесей оказывает коэффициент заполнения барабана. Влияние частоты вращения ротора барабана оказывает меньшее, но тоже значимое влияние, на коэффициент неоднородности, поэтому ее влиянием нельзя пренебрегать.

Полученная в ходе исследования модель имеет следующий вид:

$$y = b_0 + b_1 \cdot n + b_2 \cdot K + b_{11} \cdot n^2 + b_{22} \cdot K^2. \quad (5)$$

Для прогнозирования качества смешивания БГ мучной смеси, получаемой на барабанном смесителе, необходимо подставить коэффициенты из таблицы 5 в формулу (5), в итоге получилась следующая математическая модель:

$$V_c = 16,333 + 0,333 \cdot n - 1,008 \cdot K - 0,007 \cdot n^2 + 0,019 \cdot K^2. \quad (6)$$

Далее по найденному уравнению получили поверхность отклика, показывающую зависимость коэффициента неоднородности V_c от частоты вращения барабана и коэффициента его заполнения (Рисунок 2).

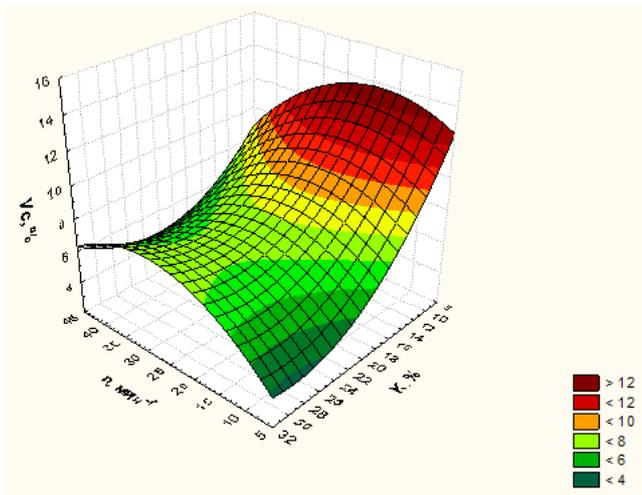


Рисунок 2. Зависимость коэффициента неоднородности V_c от частоты вращения барабана n и коэффициента его заполнения K .

Из Рисунка 2 видно, что построенная графическая зависимость подтверждает полученные экспериментальным путем рациональные технологические параметры работы барабанного смесителя. Например, при частоте вращения барабана

10 мин⁻¹ и коэффициенте заполнения в интервале 24–30%, можно получить БГ мучную смесь с заданным качеством, при этом V_c будет равен 4–6% (о чем свидетельствует темно-зеленая окраска полученной поверхности).

Далее была подсчитана относительная погрешность модели (6), для чего использовались экспериментальные и моделируемые значения:

$$\Delta V_c = \frac{V_c^{Эксп} - V_c^M}{V_c^{Эксп}} \cdot 100\%. \quad (7)$$

В Таблице 6 приведены результаты сравнения экспериментальных и моделируемых значений. Из нее видно, что значения относительной погрешности достаточно малы, следовательно, полученную регрессионную модель с достаточной точностью можно применять для предсказания качества получаемой БГ мучной смеси.

Таблица 6
Сравнение экспериментальных и модельных значений

Экспериментальные	Моделируемые	Погрешность, %
10,283	10,819	5,212
7,717	7,235	6,245
5,476	6,241	13,97
14,720	13,155	10,631
6,398	7,273	13,676
6,365	5,946	6,582
8,323	8,621	3,58
6,365	6,078	4,509
7,387	7,478	1,231
Средняя погрешность		7,292

Заключение

Исследования параметров работы барабанного смесителя при получении безглютеновых смесей позволили установить его рациональные технологические параметры работы: частота вращения барабана 10 мин⁻¹; коэффициент заполнения 30%. Доказано, что при данных технологических параметрах работы смесителя, компоненты смеси находятся дольше по времени в рабочей зоне аппарата равномерно смешиваясь друг с другом. Коэффициент K , равный 30% способствует слоистому перемещению слоёв смеси друг относительно друга в поперечном сечении барабана.

Проведенный регрессионный анализ показал зависимость качества получаемой безглютеновой мучной смеси от технологических параметров работы барабанного смесителя, при этом подтверждая рациональные значения коэффициента заполнения барабана в интервале 24–30%. Полученную регрессионную модель с достаточной точностью (в исследуемом интервале технологических параметров) можно применять для предсказания качества получаемой БГ мучной смеси.

Литература

- Бородулин Д.М., Резниченко И.Ю., Пикулина Н.С., Комаров С.С. Получение безглютеновой мучной смеси на барабанном смесителе непрерывного действия // Современные тенденции развития науки: сборник тезисов национальной конференции. Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2018. с. 107–109.
- Бородулин Д.М., Шушпанников А.Б., Войтикова Л.А. Исследование функционирования центробежного смесителя непрерывного действия методом множественного регрессионного анализа // Техника и технология пищевых производств. 2012. № 1(24). с. 98–103.
- Вохмянина Н.В., Вавилова Т.В. Принципы лабораторной диагностики целиакии. Критерии и алгоритмы обследования // Уральский медицинский журнал. 2016. № 3(136). с. 132–136.
- Домбровская Я.П., Сурмина А.В., Закалюжный Д.А. Обогащение сухих смесей для производства безглютеновых кексов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2017. Т. 79, № 1(71). с. 130–133. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-1-130-133>
- Егорова Е.Ю., Козубаева Л.А. Разработка рецептур сухих смесей с амарантовой и кунжутной мукой для изготовления безглютеновых оладий // Хлебопродукты. 2018. № 2. с. 40–42.
- Егорова Е.Ю., Резниченко И.Ю. Обоснование применения амарантовой муки для разработки пищевых концентратов - полуфабрикатов безглютеновых кексов // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2018. № 2(49). с. 30–38.
- Егорова Е.Ю., Резниченко И.Ю. Разработка пищевого концентрата – полуфабриката безглютеновых кексов с амарантовой мукой // Техника и технология пищевых производств. 2018. Т. 48, № 2. с. 36–45. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-2-36-45>
- Кошель М.В., Костыря М.В. Кондуктометрический метод количественного анализа двухкомпонентных растворов электролитов // Электронная обработка материалов. 2017. Т. 53, № 2. с. 103–109. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1053457>
- Лазебник Л.Б., Ткаченко Е.И., Орешко Л.С., Ситкин С.И., Карпов А.А., Немцов В.И., Осипенко М.Ф., Радченко В.Г., Федоров Е.Д., Медведева О.И., Селиверстов П.В., Соловьева Е.А., Шабанова А.А., Журавлева М.С. Рекомендации по диагностике и лечению целиакии взрослых // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2015. № 5(117). с. 3–12.
- Парфенов А.И., Быкова С.В., Сабельникова Е.А., Маев И.В., Баранов А.А., Бакулин И.Г., Крумс Л.М., Бельмер С.В., Боровик Т.Э., Захарова И.Н., Дмитриева Ю.А., Рославцева Е.А., Корниенко Е.А., Хавкин А.И., Потапов А.С., Ревнова М.О., Мухина Ю.Г., Щербаков П.Л., Федоров Е.Д., Белоусова Е.А., Халиф И.Л., Хомерики С.Г., Ротин Д.Л. Воробьева Н.Г., Пивник А.В., Гудкова Р.Б., Чернин В.В., Вохмянина Н.В., Пухликова Т.В., Дегтерёв Д.А., Дамулин И.В., Мкртумян А.М., Джулай Г.О.СТ, Тетруашвили Н.К., Барановский А.Ю., Назаренко Л.И., Харитонов А.Г., Лоранская И.Д., Сайфутдинов Р.Г., Ливзан М.А., Абрамов Д.А., Осипенко М.Ф., Орешко Л.В., Ткаченко Е.И., Ситкин С.И., Ефремов Л.И., Воробьева Н.Н. Всероссийский консенсус по диагностике и лечению целиакии у детей и взрослых // Терапевтический архив. 2017. Т. 89, № 3. с. 94–107. <https://doi.org/10.17116/terarkh201789394-107>
- Пикулина Н.С., Резниченко И.Ю., Бородулин Д.М. Роль безглютеновой диеты в профилактике целиакии // Кузбасс: образование, наука, инновации: материалы Инновационного конвента / Департамент молодежной политики и спорта Кемеровской области. Кемерово: Сибирский государственный индустриальный университет, 2019. с. 187–188.
- Ревнова М.О., Романовская И.Э. Безглютеновая диета как единственный метод лечения целиакии // Пищевая непереносимость у детей. Современные аспекты диагностики, лечения, профилактики и диетотерапии: сборник трудов II Всероссийской научно-практической конференции / под ред. В.П. Новиковой, Т.В. Косенковой. СПб.: О.О.«ИнформМед», 2017. с. 142–145.
- Резниченко И.Ю., Бородулин Д.М., Пикулина Н.С. Современные подходы для создания инновационных технологий безглютеновых продуктов питания // Актуальные вопросы создания функциональных продуктов птицеводства и других отраслей пищевой промышленности: сборник трудов научной конференции / под ред. И.В. Мокшанцевой. Ржавки: В.И.ПП, 2018. с. 120–123.
- Резниченко И.Ю., Егорова Е.Ю. Обоснование применения амарантовой и кунжутной муки для

- разработки мучных изделий специализированного назначения // Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. 2018. Т. 20. с. 164–171. <https://doi.org/10.30679/2587-9847-2018-20-164-171>
- Резниченко И.Ю., Зоркина Н.Н., Егорова Е.Ю. Совершенствование ассортимента кондитерских изделий специализированного назначения // Ползуновский вестник. 2016. № 2. с. 4–7.
- Резниченко И.Ю., Иванец Г.Е., Алешина Ю.А. Обоснование рецептуры и товароведная оценка вафель специализированного назначения // Техника и технология пищевых производств. 2013. № 1(28). с. 138–142.
- Резниченко И.Ю., Рензьева Т.В., Табаторович А.Н., Сурков И.В., Чистяков А.М. Формирование ассортимента мучных кондитерских изделий функциональной направленности // Техника и технология пищевых производств. 2017. № 2(45). с. 149–162.
- Резниченко И.Ю., Чистяков А.М., Рензьева Т.В., Рензьев А.О. Разработка рецептур мучных кондитерских изделий функционального назначения // Хлебопродукты. 2019. № 6. с. 40–43. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2019-28-6-40-43>
- Ткаченко Е.И., Орешко Л.С., Ситкин С.И., Соловьева Е.А., Шабанова А.А., Журавлева М.С. Функциональное питание - важнейший компонент лечения метаболических расстройств при целиакии // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2015. № 12(124). с. 42–49.
- Щеколдина Т.В., Кудинов П.И., Вершинина О.Л., Христенко А.Г. Разработка системы Х.С.П при производстве сухих смесей на основе квиноа для создания безглютеновых продуктов питания // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2018. № 5–6(365–366). с. 100–106.
- Юлдашева Д.Х., Камилова А.Т. Опыт применения глютенгидролизующих штаммов индигенной флоры в комплексном лечении целиакии у детей // Вопросы детской диетологии. 2011. Т. 9, № 1. с. 76–78.
- Bai J.C., Fried M., Corazza G.R., Schuppan D., Farthing M., Catassi C., Greco L., Cohel H., Ciacci C., Eliakim R., Fasano A., González A., Krabshuis J.H., LeMair A. World Gastroenterology Organization Global Guidelines on Celiac Disease // Journal of Clinical Gastroenterology. 2013. Vol. 47, issue 2. P. 121–126. <https://doi.org/10.1097/MCG.0b013e31827a6f83>
- García-Solís S.E., Bello-Pérez L.A., Agama-Acevedo E., Flores-Silva P.C. Plantain Flour: A Potential Nutraceutical Ingredient to Increase Fiber and Reduce Starch Digestibility of Gluten-Free Cookies // Starch Starke. 2017. Vol. 70, issue 1–2. <https://doi.org/10.1002/star.201700107>
- Hunt R.C. How to Increase the Accuracy of Solution Conductivity Measurements. Santa Ana, CA: Sensor Development, 1995. 17 p.
- Ivanets V.N., Borodulin D.M., Shushpannikov A.B., Sukhorukov D.V. Intensification of Bulk Material Mixing in New Designs of Drum, Vibratory and Centrifugal Mixers // Foods and Raw Materials. 2015. Vol. 3, issue 1. P. 62–69. <https://doi.org/10.12737/11239>
- Koning F. Celiac Disease: Across the Threshold of Tolerance // Frontiers in Celiac Disease. Pediatric and Adolescent Medicine. 2008. Vol. 12. P. 82–88. <https://doi.org/10.1159/000128662>
- Krupa-Kozak U., Drabińska N., Rosell C.M., Fadda C., Anders A., Jeliński T., Ostaszyk A. Broccoli Leaf Powder as an Attractive by Product Ingredient: Effect on Batter Behaviour, Technological Properties and Sensory Quality of Gluten Free Mini Sponge Cake // Journal of Food Science and Technology. 2018. Vol. 54, issue 4. P. 1121–1129. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13972>
- Lian H., Luo K., Gong Y., Zhang S., Serventi L. Okara Flours from Chickpea and Soy are Thickeners: Increased Dough Viscosity and Moisture Content in Gluten-Free Bread // International Journal of Food Science. 2019. Vol. 55, issue 2. P. 805–812. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14332>
- Lionetti E., Catassi C. New Clues in Celiac Disease Epidemiology, Pathogenesis, Clinical Manifestations, and Treatment // International Reviews of Immunology. 2011. Vol. 30, issue 4. P. 219–231. <https://doi.org/10.3109/08830185.2011.602443>
- Ludvigsson J.F., Leffler D.A., Bai J.C., Biagi F., Fasano A., Green P.H.R., Hadjivassiliou M., Kaukinen K., Kelly C.P., Leonard J.N., Lundin K.E.A., Murray J.A., Sanders D.S., Walker M.M., Zingone F., Ciacci C. The Oslo Definitions for Coeliac Disease and Related Terms // Gut. 2013. Vol. 62, issue 1. P. 43–52. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2011-301346>
- Moreira R., Chenlo F., Torres M. Effect of Shortening on the Rheology of Gluten-Free Doughs: Study of Chestnut Flour With Chia Flour, Olive and Sunflower Oils // Journal of Texture Studies. 2012. Vol. 43, issue 5. P. 375–383. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2012.00348.x>
- Rachman A., Brennan M.A., Morton J., Brennan C.S. Effect of Cassava and Banana Flours Blend on Physico-Chemical and Glycemic Characteristics of Gluten-Free Pasta // Journal of Food Processing and Preservation. 2019. Vol. 43, issue 9. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14084>
- Reznichenko I.Y., Chistyakov A.M., Ustinova Y.V., Ruban N.Y. I.Q.ality Management of the Enriched

- Flour Confectionery with Application of the Qualimetric Analysis // I.P.Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 315, issue 2. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/315/2/022006>
- Rybicka I., Doba K., Binczak O. Improving the Sensory and Nutritional Value of Gluten-Free Bread // Journal of Food Science and Technology. 2019. Vol. 54, issue 9. P. 2661–2667. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14190>
- Winger M., Khouryieh H., Aramouni F., Herald T. Sorghum Flour Characterization and Evaluation in Gluten-Free Flour Tortilla // Journal of Food Quality. 2014. Vol. 37, issue 2. P. 95–106. <https://doi.org/10.1111/jfq.12080>

Determination of Rational Technological Parameters for the Operation of a Continuous Drum Mixer When Obtaining a Gluten-Free Flour Mixture

Irina Y. Reznichenko

*Kemerovo State University
6 Krasnaya Street, Kemerovo, 650043, Russian Federation
E-mail: irina.reznichenko@gmail.com*

Dmitry M. Borodulin

*Kemerovo State University
6 Krasnaya Street, Kemerovo, 650043, Russian Federation
E-mail: borodulin_dmitri@list.ru*

Anton V. Shafrai

*Kemerovo State University
6 Krasnaya Street, Kemerovo, 650043, Russian Federation
E-mail: shafraia@mail.ru*

Natalia S. Pikulina

*Kemerovo State University
6 Krasnaya Street, Kemerovo, 650043, Russian Federation
E-mail: n-pikulina@mail.ru*

Marina N. Potapova

*Kemerovo State University
6 Krasnaya Street, Kemerovo, 650043, Russian Federation
E-mail: potap-1962@list.ru*

Olga P. Shafrai

*Kemerovo State University
6 Krasnaya Street, Kemerovo, 650043, Russian Federation
E-mail: ilina18.92@mail.ru*

The insufficiently wide range of domestic flour confectionery products for specialized nutrition presented on the consumer market of the Kuzbass region, including gluten-free products, and the growth in demand for these products determines the need to meet customer requirements by expanding the range and introducing innovative production technologies. The relevance of developing gluten-free (GF) products is beyond doubt, since the number of people with gluten intolerance is increasing annually and satisfying consumer demand is an important task. Also, the main task is not only the development of the mixtures, but also to select technological modes and parameters for their preparation for practical implementation of the results in industrial production. The article presents the results of studies on obtaining a homogeneous gluten-free flour mixture on a continuous drum mixer. The flour mixture is intended for the production of flour confectionery products that do not contain gluten. For an experimental study of the gluten-free mixture mixing process, a continuous drum mixer with a smooth inner surface of the drum without additional mixing devices was selected, and rational mixer operation parameters were determined. The values of the indicators describing the heterogeneity of the mixture were obtained using the conductometric method of chemical analysis. The results obtained showed that the best quality of the obtained gluten-free flour mixture is achieved at a drum rotation frequency of 10 min^{-1} and its fill factor of 30%. Processing of the research results was carried out using multiple regression methods. The obtained regression model can be used with sufficient accuracy to predict the quality of the obtained GF flour mixture, since the average value of its relative error did not exceed 10%.

Keywords: gluten-free flour mix, drum mixer, heterogeneity coefficient, multiple regression, mixing quality.

References

- Borodulin D.M., Reznichenko I.Y., Pikulina N.S., Komarov S.S. Poluchenie bezglyutenovoi muchnoi smesi na barabannom smesitele nepreryvno-go deistviya [Getting gluten-free flour mixture on a continuous drum mixer]. In *Sovremennye tendentsii razvitiya nauki: sbornik tezisov natsional'noi konferentsii* [Modern trends in the development of science: Proceedings of the of the national conference]. Kemerovo: Kemerovskii gosudarstvennyi universitet, 2018, pp. 107–109.
- Borodulin D.M., Shushpannikov A.B., Voitkova L.A. Issledovanie funktsionirovaniya tsentrobezhnogo smesitelya nepreryvno-go deistviya metodom mnozhestvennogo regressionnogo analiza [Research of functioning of the centrifugal mixer of continuous action by the method of multiple regression analysis]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Technique and technology of food production], 2012, no. 1(24), pp. 98–103.
- Vokhmyanina N.V., Vavilova T.V. Printsipy laboratornoi diagnostiki tseliakii. Kriterii i algoritmy ob sledovaniya [Specific principles of celiac disease diagnostics, clinical laboratory criteria and diagnostic algorithms]. *Ural'skii meditsinskii zhurnal* [Ural medical journal], 2016, no. 3(136), pp. 132–136.
- Dombrovskaya Ya.P., Surmina A.V., Zakalyuzhnyi D.A. Obogashchenie sukhikh smesei dlya proizvodstva bezglyutenovykh keksov [Enrichment of dry mixes for gluten-free muffins]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii* [Voronezh state university of engineering technologies bulletin], 2017, vol. 79, no. 1(71), pp. 130–133. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-1-130-133>
- Egorova E.Y., Kozubaeva L.A. Razrabotka retseptur sukhikh smesei s amarantovoi i kunzhutnoi mukoi dlya izgotovleniya bezglyutenovykh oladii [Development of recipes for dry mixes with amaranth and sesame flour for the production of gluten-free pancakes]. *Khleboprodukty* [Bakery products], 2018, no. 2, pp. 40–42.
- Egorova E.Y., Reznichenko I.Y.. Obosnovanie primeniya amarantovoi muki dlya razrabotki pishchevykh kontsentratsionnykh polufabrikatov bezglyutenovykh keksov [Rationale for application of amaranth flour for development of food concentrate – semi-finished of gluten-free cupcakes]. *Tekhnologiya i tovarovedenie innovatsionnykh pishchevykh produktov* [Technology and commodity science of innovative food products], 2018, no. 2(49), pp. 30–38.
- Egorova E.Y., Reznichenko I.Y.. Razrabotka pishchevogo kontsentrata – polufabrikata bezglyutenovykh keksov s amarantovoi mukoi [Development of food concentrate – semi-finished product with amaranth flour for gluten-free cupcakes]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Technique and technology of food production], 2018, vol. 48, no. 2, pp. 36–45. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2018-2-36-45>
- Koshel' M.V., Kostyrya M.V. Konduktometricheskii metod kolichestvennogo analiza dvukhkomponentnykh rastvorov elektrolitov [Conductometric method for quantitative analysis of two-component solutions of electrolytes]. *Elektronnaya obrabotka materialov* [Electronic material processing], 2017, vol. 53, no. 2, pp. 103–109. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1053457>
- Lazebnik L.B., Tkachenko E.I., Oreshko L.S., Sitkin S.I., Karpov A.A., Nemtsov V.I., Osipenko M.F., Radchenko V.G., Fedorov E.D., Medvedeva O.I., Seliverstov P.V., Solov'eva E.A., Shabanova A.A., Zhuravleva M.S. Rekomendatsii po diagnostike i lecheniyu tseliakii vzroslykh [Recommendations for the diagnosis and treatment of celiac disease in adults]. *Eksperimental'naya i klinicheskaya gastroenterologiya* [Experimental and clinical gastroenterology], 2015, no. 5(117), pp. 3–12.
- Parfenov A.I., Bykova S.V., Sabel'nikova E.A., Maev I.V., Baranov A.A., Bakulin I.G., Krums L.M., Bel'mer S.V., Borovik T.E., Zakharova I.N., Dmitrieva Yu.A., Roslavtseva E.A., Kornienko E.A., Khavkin A.I., Potapov A.S., Revnova M.O., Mukhina Yu.G., Shcherbakov P.L., Fedorov E.D., Belousova E.A., Khalif I.L., Khomeriki S.G., Rotin D.L. Vorob'eva N.G., Pivnik A.V., Gudkova R.B., Chernin V.V., Vokhmyanina N.V., Pukhlikova T.V., Degterev D.A., Damulin I.V., Mkrtumyan A.M., Dzhulai G.S., Tetrushvili N.K., Baranovskii A.Y., Nazarenko L.I., Kharitonov A.G., Loranskaya I.D., Saifutdinov R.G., Livzan M.A., Abramov D.A., Osipenko M.F., Oreshko L.V., Tkachenko E.I., Sitkin S.I., Efremov L.I., Vorob'eva N.N. Vserossiiskii konsensus po diagnostike i lecheniyu tseliakii u detei i vzroslykh [All-Russian consensus on the diagnosis and treatment of celiac disease in children and adults]. *Terapevticheskii arkhiv* [Therapeutic archive], 2017, vol. 89, no. 3, pp. 94–107. <https://doi.org/10.17116/terarkh201789394-107>
- Pikulina, N.S., Reznichenko I.Y., Borodulin D.M. Rol' bezglyutenovoi diety v profilaktike tseliakii [The role of a gluten-free diet in prevention of celiac]. *Kuzbass: obrazovanie, nauka, innovatsii: materialy Innovatsionnogo konventa* [Kuzbass: education, science, innovation: Innovation convention]. Kemerovo: Sibirskii gosudarstvennyi industrial'nyi universitet, 2019, pp. 187–188.
- Revnova M.O., Romanovskaya I.E. Bezglyutenovaya dieta kak edinstvennyi metod lecheniya tseliakii

- [Gluten-free diet as the only treatment for celiac disease]. *Pishchevaya neperenosimost' u detei. Sovremennye aspekty diagnostiki, lecheniya, profilaktiki i dietoterapii [Food intolerance in children. Modern aspects of diagnosis, treatment, prevention and diet therapy, (2nd All-Russian scientific and practical conference), 21 April 2017]*. S.Petersburg: OOO "InformMed", 2017, pp. 142–145.
- Reznichenko I.Y., Borodulin D.M., Pikulina N.S. Sovremennye podkhody dlya sozdaniya innovatsionnykh tekhnologii bezglyutenovykh produktov pitaniya [Modern approaches to create innovative technologies for gluten-free food]. In *Aktual'nye voprosy sozdaniya funktsional'nykh produktov ptitsevodstva i drugikh otraslei pishchevoi promyshlennosti: sbornik trudov nauchnoi konferentsii [Topical issues of creating functional poultry products and other food industries: Proceedings of the scientific conference]*. Rzhavki: V.I.PP, 2018, pp. 120–123.
- Reznichenko I.Y., Egorova E.Y.. Obosnovanie primeniya amarantovoi i kunzhutnoi muki dlya razrabotki muchnykh izdelii spetsializirovannogo naznacheniya [Reasons for the use of amaranth and sesame flour for the development of flour products for specialized purposes]. *Nauchnye trudy Severo-Kavkazskogo federal'nogo nauchnogo tsentra sadovodstva, vinogradarstva, vinodeliya [Scientific works of the north caucasus federal scientific center for horticulture, viticulture, winemaking]*, 2018, vol. 20, pp. 164–171. <https://doi.org/10.30679/2587-9847-2018-20-164-171>
- Reznichenko I.Y., Zorkina N.N., Egorova E.Y.. Sovershenstvovanie assortimenta konditerskikh izdelii spetsializirovannogo naznacheniya [Improvement of the range of specialized confectionery]. *Polzunovskii vestnik [Polzunovsky bulletin]*, 2016, no. 2, pp. 4–7.
- Reznichenko I.Y., Ivanets G.E., Aleshina Yu.A. Obosnovanie retseptury i tovarovednaya otsenka vafel' spetsializirovannogo naznacheniya [The recipe explanation and merchandising valuation of special purpose waffles]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv [Technique and technology of food production]*, 2013, no. 1(28), pp. 138–142.
- Reznichenko I.Y., Renzyaeva T.V., Tabatorovich A.N., Surkov I.V., Chistyakov A.M. Formirovanie assortimenta muchnykh konditerskikh izdelii funktsional'noi napravlenosti [Formation of a range of functional flour confectionery products]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv [Technique and technology of food production]*, 2017, no. 2(45), pp. 149–162.
- Reznichenko I.Y., Chistyakov A.M., Renzyaeva T.V., Renzyaev A.O. Razrabotka retseptur muchnykh konditerskikh izdelii funktsional'nogo naznacheniya [Development of recipes for flour confectionery products for functional purposes]. *Khleboprodukty [Bakery products]*, 2019, no. 6, pp. 40–43. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2019-28-6-40-43>
- Rynok bezglyutenovoi produktsii [Gluten free market]. *Pishchevaya industriya [Food industry]*, 2017, no. 1(31), pp. 8–10.
- Tkachenko E.I., Oreshko L.S., Sitkin S.I., Solov'eva E.A., Shabanova A.A., Zhuravleva M.S. Funktsional'noe pitanie - vazhneishii komponent lecheniya metabolicheskikh rasstroistv pri tseliakii [Functional nutrition is an essential component of the treatment of metabolic disorders in celiac disease]. *Eksperimental'naya i klinicheskaya gastroenterologiya [Experimental and clinical gastroenterology]*, 2015, no. 12(124), pp. 42–49.
- Shchekoldina T.V., Kudinov P.I., Vershinina O.L., Khristenko A.G. Razrabotka sistemy K.A.SP pri proizvodstve sukhikh smesei na osnove kvinoa dlya sozdaniya bezglyutenovykh produktov pitaniya [Development of a H.C.P system for the production of quinoa-based dry mixes for the creation of gluten-free food products]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Pishchevaya tekhnologiya [Proceedings of higher educational institutions. Food technology]*, 2018, no. 5–6(365–366), pp. 100–106.
- Yuldasheva D.K., Kamilova A.T. Opyt primeniya glyutendroliziruyushchikh shtammov indigennoi flory v kompleksnom lechenii tseliakii u detei [Experience of using gluten-hydrolyzing strains of indigenous flora in the complex treatment of celiac disease in children]. *Voprosy detskoj dietologii [Pediatric nutritional issues]*, 2011, vol. 9, no. 1, pp. 76–78.
- Bai J.C., Fried M., Corazza G.R., Schuppan D., Fartling M., Catassi C., Greco L., Cohel H., Ciacci C., Eliakim R. Fasano A., González A., Krabs-huis J.H., L.M.ir A. World Gastroenterology Organization Global Guidelines on Celiac Disease. *Journal of Clinical Gastroenterology*, 2013, vol. 47, issue 2, pp. 121. <https://doi.org/10.1097/MCG.0b013e31827a6f83>
- García-Solís S.E., Bello-Pérez L.A., Agama-Acevedo E., Flores-Silva P.C. Plantain Flour: A.P.tential Nutraceutical Ingredient to Increase Fiber and Reduce Starch Digestibility of Gluten-Free Cookies. *Starch starke*, 2017, vol. 70, issue 1–2. <https://doi.org/10.1002/star.201700107>
- Hunt R.C. How to Increase the Accuracy of Solution Conductivity Measurements. Santa Ana, CA: Sensor Development, 1995. 17 p.
- Ivanets V.N., Borodulin D.M., Shushpannikov A.B., Sukhorukov D.V. Intensification of Bulk Material Mixing in New Designs of Drum, Vibratory

- and Centrifugal Mixers. *Foods and raw materials*, 2015, vol. 3, issue 1, pp. 62–69. <https://doi.org/10.12737/11239>
- Koning F. Celiac Disease: Across the Threshold of Tolerance. *Pediatric and Adolescent Medicine*, 2008, vol. 12, pp. 82–88. <https://doi.org/10.1159/000128662>
- Krupa-Kozak U., Drabińska N., Rosell C.M., Fadda C., Anders A., Jeliński T., Ostaszyk A. Broccoli Leaf Powder as an Attractive by Product Ingredient: Effect on Batter Behaviour, Technological Properties and Sensory Quality of Gluten Free Mini Sponge Cake. *Journal of Food Science and Technology*, 2018, vol. 54, issue 4, pp. 1121–1129. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13972>
- Lian H., Luo K., Gong Y., Zhang S., Serventi L. Okara Flours from Chickpea and Soy are Thickeners: Increased Dough Viscosity and Moisture Content in Gluten-Free Bread. *International Journal of Food Science*, 2019, vol. 55, issue 2, pp. 805–812. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14332>
- Lionetti E., Catassi C. New Clues in Celiac Disease Epidemiology, Pathogenesis, Clinical Manifestations, and Treatment. *International Reviews of Immunology*, 2011, vol. 30, issue 4, pp. 219–231. <https://doi.org/10.3109/08830185.2011.602443>
- Ludvigsson J.F., Leffler D.A., Bai J.C., Biagi F., Fasano A., Green P.H.R., Hadjivassiliou M., Kaukinen K., Kelly C.P., Leonard J.N., Lundin K.E.A., Murray J.A., Sanders D.S., Walker M.M., Zingone F., Ciacci C. The Oslo Definitions for Coeliac Disease and Related Terms. *Gut*, 2013, vol. 62, issue 1, pp. 43–52. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2011-301346>
- Moreira R., Chenlo F., Torres M. Effect of Shortening on the Rheology of Gluten-Free Doughs: Study of Chestnut Flour With Chia Flour, Olive and Sunflower Oils. *Journal of Texture Studies*, 2012, vol. 43, issue 5, pp. 375–383. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2012.00348.x>
- Rachman A., Brennan M.A., Morton J., Brennan C.S. Effect of Cassava and Banana Flours Blend on Physico-Chemical and Glycemic Characteristics of Gluten-Free Pasta. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2019, vol. 43, issue 9. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14084>
- Reznichenko I.Y., Chistyakov A.M., Ustinova Y.V., Ruban N.Y. I.Q.ality Management of the Enriched Flour Confectionery with Application of the Qualimetric Analysis. *I.P.Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2019, vol. 315, issue 2. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/315/2/022006>
- Rybicka I., Doba K., Binczak O. Improving the Sensory and Nutritional Value of Gluten-Free Bread. *Journal of Food Science and Technology*, 2019, vol. 54, issue 9, pp. 2661–2667. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14190>
- Winger M., Khouryieh H., Aramouni F., Herald T. Sorghum Flour Characterization and Evaluation in Gluten-Free Flour Tortilla. *Journal of Food Quality*, 2014, vol. 37, issue 2, pp. 95–106. <https://doi.org/10.1111/jfq.12080>

О кинетике потока жидкости в центробежном сепараторе

Славянский Анатолий Анатольевич

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)»

Адрес: 109004, город Москва, ул. Земляной Вал, дом 73

E-mail: slavyanskiyaa@mgutn.ru

Семенов Евгений Владимирович

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)»

Адрес: 109004, город Москва, ул. Земляной Вал, дом 73

E-mail: sem-post@mail.ru

Грибкова Вера Анатольевна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)»

Адрес: 109004, город Москва, ул. Земляной Вал, дом 73

E-mail: vera_gribkova@list.ru

Николаева Наталья Валерьевна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления имени К.Г. Разумовского (Первый казачий университет)»

Адрес: 109004, город Москва, ул. Земляной Вал, дом 73

E-mail: nata_nik@inbox.ru

Особенности режимов течения вязкой несжимаемой жидкости в полости между двумя вращающимися конусами имеют большое значение в связи с важностью проблемы анализа особенностей кинетики этих потоков для центробежного сепарирующего оборудования в молочном, мясном, микробиологическом и других смежных производствах. Очевидно, что для исследования кинетических закономерностей движения жидкости в узком зазоре между двумя соседними усеченными конусами необходимо располагать корректным аппаратом математического моделирования течения в этом зазоре, имея в виду, что индуцируемый линейным источником на оси вращения ротора поток приближенно моделирует течение слабо концентрированной системы «жидкость + твердое» в щелевой полости между тарелками сепаратора. В данной работе поставлена цель: на основе законов сохранения импульса и массы жидкости получить асимптотически точное решение задачи для анализируемого потока; на базе полученного решения, в критериальной форме, исследовать зависимости кинетических характеристик потока от его критериев; обосновать адекватность полученных результатов расчета режимным параметрам действующего оборудования. В реализацию построенного в виде параметрически зависящего от критериальных параметров функционального ряда решения поставленной задачи о кинетике жидкостного потока предложен в форме итеративной процедуры алгоритм определения членов построенного ряда. На базе данного алгоритма проведено численное исследование с содержательным анализом поля скоростей и давления рассматриваемого потока по характерным для промышленного сепарирующего оборудования значениям критериальных параметров.

Ключевые слова: сепаратор, коническая вставка, вязкая несжимаемая жидкость, кинетика потока

Введение

Кинетические закономерности течения вязкой несжимаемой жидкости (ВНЖ) между двумя основными близко отстоящими вращающимися ко-

нусами, в том числе, и в межтарелочном зазоре (МТЗ) сепаратора имеют важное научно-техническое значение, что связано с проблемой количественного анализа как собственно гидродинамики этих потоков, так и с вытекающей отсюда оценкой

эффективности процесса разделения суспензии в рабочем объеме машины. Где скомпонованные в виде яруса эквидистантные усеченные конуса (пакет тарелок) в роторе центробежного жидкостного сепаратора используются в качестве его основного рабочего органа (Рисунок 1).

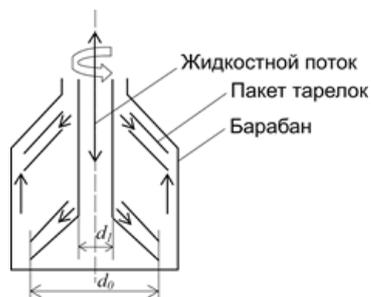


Рисунок 1. Конструктивная схема сепаратора-разделителя

Цель данной работы: на базе сформулированных для щелевого течения вязкой несжимаемой жидкости в полости между конусами соотношений в виде векторного уравнения Навье-Стокса (закона сохранения импульса) и уравнения неразрывности (закона сохранения массы жидкости) по анализируемому потоку, обосновать точное решение поставленной задачи. Используя полученное решение для данного течения, численным путем, исследовать кинетические зависимости от пространственных координат кинематических характеристик потока, давления в нем, мощности действующих на поток центробежных сил инерции и др. Результаты проведенного численного анализа проверить на адекватность их физическому смыслу исследуемого явления и соответствия полученных результатов параметрическим данным эксплуатируемых центробежных сепарирующих машин.

Исследованию особенностей режимов течения жидкости в М.З.сепаратора и связанных с этой проблемой задач посвящены работы (Александров, 2000, с. 24–29; Жуков, 1991, с. 747–751; Карпычев, 1982; Кирыков, 2012, с. 46–49; Князев, 2011, с. 59–66; Пожарский, 2002; Романков, Плюшкин, 1976; Семенов, Славянский, Карамзин, 2014, с. 7–10; Семенов, 1997; 2017, Семенов, Славянский, Карамзин, 2017, с. 39–45; Карамзин, Семенов, 2012, с. 1619–1624; Кот, 1964, с. 227–237; Хаппель, Бреннер, 1976). Так, в статье (Жуков, 2016, с. 683–693) ставится и решается близкая к рассматриваемой в данной работе частная про-

блема о нарушении сплошности потока однородной жидкости между тарелками центробежного сепаратора.

Аналогичные исследованным в указанных выше работах проблемы поднимались и при количественном анализе более простой задачи – о развитии течения В.Ж.в полости между двумя вращающимися равноотстоящими дисками (Аристов, Князев, 2012, с. 55–61; Шкоропад, 1975; Бэтчелор, 1973; Бликов, Рябчук, 2011; Нигматулин, 1987; Семенов, 1997, с. 55–63; Debuchy, Dument, Muhe, Micheau 1998, p. 791–810; Kreith, 1965, p. 1189–1190; Peube, Kreith, 1966, p. 261–286).

Хотя особенности однородных и двухфазных жидкостных систем в МТЗцентробежных разделяющих машин с коническими вставками изучались в ряде работ, однако не известен удобный для практического использования и адаптированный к современным информационным технологиям расчетный аппарат по моделированию циркулирующих потоков во вращающихся щелевых полостях конической формы. Не получили должного теоретического обоснования вопросы зависимости кинетики данного процесса от инерционной составляющей движения жидкости, оценки величины давления и мощности сил, действующих на поток и др.

В последние годы количественный анализ потоков жидкости, особенно в полостях сложной конфигурации, в ряде случаев проводился на основе таких компьютерных систем, как ANSYS, COSMOS Flo Works и др. В то же время полученные на базе этих систем результаты фактически эквивалентны данным разового численного эксперимента, с последующей адаптацией этих результатов на объект исследования. Что, по многим причинам, уступает полученным (когда такая возможность имеется) на основе явной или иной формам алгоритмов результатам прямого расчета (в том числе, вследствие их общности, удобства применения в прогнозировании протекания процесса, простоты использования и др.)¹.

Поскольку тарелки сепаратора могут быть смоделированы коническими поверхностями в ортогональной биконической системе координат, то, таким образом, создаются предпосылки в корректной постановке и количественном моделировании, с достаточной точностью, краевой задачи по течению жидкости в МТЗ.²

¹ Кудрявцев Е.М. Mathcad 2000: символьное и численное решение разнообразных задач. М.: Д.К.Пресс, 2001. 571 с.

² Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: учебник для вузов. 10-е изд. М.: Альянс, 2004. 753 с.

В связи с этим, основываясь на информационных технологиях, в работе предлагается более обоснованный, по сравнению с известными до сих пор аналогами, количественный анализ гидродинамики потока в полости между двумя моделирующими МТЗ близко отстоящими вращающимися конусами.

Материалы и методы исследования

Пусть $O\xi\zeta\eta$ – неподвижная прямоугольная декартова система координат с осью $O\xi$, направленной вниз по оси вращения ротора (Рисунок 2).

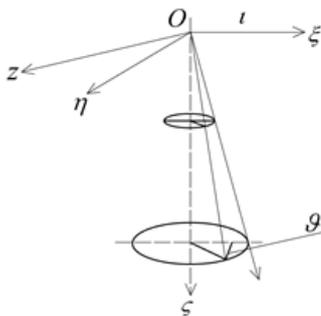


Рисунок 2. Схема к обоснованию биконической системы координат (ξ, η, ι – подвижная прямоугольная декартова система координат, $r\theta z$ – биконическая система координат)

Задачу о течении жидкости между двумя безграничными конусами целесообразно относить к называемой биконической системе координат $\eta\theta z$, жестко связанной с одним из конусов (Рисунок 2). В качестве координатных поверхностей выбирается семейство двух взаимно ортогональных конусов $\eta = \text{const}, z = \text{const}$ и осевая полуплоскость $\theta = \text{const}$, с параметрами Ламе: $H_\eta = 1, H_z = 1, H_\theta = \eta \sin \alpha - z \cos \alpha$ (где α – полуугол конусности) (Карпычев, 1982).

В принятом допущении об узости зазора (Рисунок 3), вдали от оси $O\xi$, очевидно, что $\eta \sin \alpha$ много больше $z \cos \alpha$. В таком случае, если ротор вместе с системой координата $\eta\theta z$ приведен во вращательное движение, то по скорости и ускорению жидкости $\partial/\partial z$ много больше $\partial/\partial \eta$.

Тогда, приближенно, при осесимметричном ($\partial/\partial \theta = 0$) и стационарном ($\partial/\partial t = 0$) режиме течения, если в качестве характерной длины выбрать $l = (\nu/\Omega)^{1/2}$, характерной скорости $U = (\nu \cdot \Omega)^{1/2}$ (где ν – кинематическая вязкость жидкости, $\Omega = \omega \sin \alpha$, ω – угловая скорость ротора), то в относительном движении в проекциях по осям η, θ, z система уравнений Навье-Стокса и уравнение неразрывности по

тока, в безразмерной форме, записываются в виде (Карпычев, 1982)

$$u \frac{\partial u}{\partial r} + w \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{1}{r} v^2 = -\frac{\partial P}{\partial r} + 2v + \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} - \frac{\text{ctg} \alpha}{r} \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{1}{r^2} u + \frac{\text{ctg} \alpha}{r^2} w, \quad (1)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial r} + w \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{u - w \text{ctg} \alpha}{r} v = = 2(w \text{ctg} \alpha - u) + \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{\text{ctg} \alpha}{r} \frac{\partial w}{\partial x} - \frac{1}{r^2 \sin^2 \alpha} v, \quad (2)$$

$$u \frac{\partial w}{\partial r} + w \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\text{ctg} \alpha}{r} v^2 = = -\frac{\partial P}{\partial x} - 2v \text{ctg} \alpha + \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} - \frac{\text{ctg} \alpha}{r} \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\text{ctg} \alpha}{r^2} u - \frac{\text{ctg}^2 \alpha}{r^2} w, \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial r}(ru) + r \frac{\partial w}{\partial x} = 0, \quad (4)$$

где $r = \eta/l; x = z/l$ – соответственно – безразмерная продольная и поперечная координата; u, v, w – соответственно – безразмерная продольная, относительная окружная и поперечная составляющая скорости жидкости, $P = P'/(rU^2)$ – безразмерное динамическое давление, $P' = p - \rho \omega^2 \times (\eta \sin \alpha - z \cos \alpha)^2 / 2$ – динамическое давление (условно), p – давление, ρ – плотность жидкости.

Асимптотически, при $\alpha \rightarrow \pi/2$, полость между конусами трансформируется в горизонтальный диск, а система (1)-(4) вырождается в систему уравнений Навье-Стокса в цилиндрических координатах (Лойцянский, 1970).

Совмещая начало координат O_s образующей верхнего конуса и осью ротора, и направляя ось $z(x)$ вниз, ортогонально оси $\eta(r)$, в качестве граничных принимаем условия прилипания жидкости к стенкам канала (Рисунок 3)

$$u = v = w = 0 \text{ при } x = 0, \quad (5)$$

$$u = v = w = 0 \text{ при } x = \lambda, \lambda = h(\Omega/\nu)^{1/2}, \quad (6)$$

где λ – параметр Экмана (безразмерный зазор между конусами), h – толщина МТЗ

Кроме того, должно быть выполнено условие

$$u = 0 \text{ при } r \rightarrow \infty, \quad (7)$$

где u – модуль продольной скорости жидкости.

С учетом (7) составляющие скорости u, v отыскиваются в виде рядов (Карпычев, 1982)

$$u(r, x) = u_1(x)/r + u_2(x)/r^2 + u_3(x)/r^3 + \dots, \quad (8)$$

$$v(r, x) = v_1(x)/r + v_2(x)/r^2 + v_3(x)/r^3 + \dots \quad (9)$$

В свою очередь, в качестве динамического давления принимаем

$$P(r, x) = P_0(x) + P_1(x) \ln r + P_2(x)/r + P_3(x)/r^2 + \dots \quad (10)$$

Согласно (5), (6) для $u_n, v_n (n = 1, 2, \dots)$ имеем граничные условия

$$u_n(x) = v_n(x) = 0 \text{ при } x = 0, \quad (11)$$

$$u_n(x) = v_n(x) = 0 \text{ при } x = \lambda. \quad (12)$$

Условие расхода жидкости q в безразмерном виде

$$q = 2\pi \int_0^\lambda u(r, x) r \sin \alpha dx, \quad (13)$$

где $q = QU^{-1/2} = Q(\Omega/\nu^3)^{1/2}$, q – параметр Россби, Q – расход жидкости через МТЗ

Учитывая соотношения (12), (13), для u_1 выбираем

$$\int_0^\lambda u_1(x) dx = q / (2\pi \sin \alpha), \quad (14)$$

и тогда для u_n должны быть выполнены условия

$$\int_0^\lambda u_n(x) dx = 0, \quad n = 2, 3, \dots \quad (15)$$

В свою очередь, интегрируя уравнение (4) по x , получим

$$w = -\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \int_0^x ru(r, x) dx, \quad (16)$$

и поэтому, согласно (15), (16) граничные условия (5), (6) для поперечной составляющей w скорости жидкости выполняются. В результате, принимая во внимание (8), (16), для данной составляющей имеем разложение по r , начинающееся с члена лишь порядка $(1/r^3)$

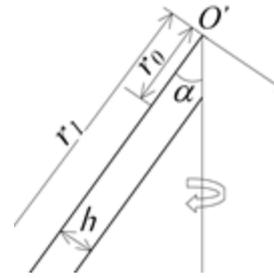


Рисунок 3. Схема межтарелочной полости барабана сепаратора

$$w(r, x) = \frac{1}{r^3} \int_0^x u_2(x) dx + \frac{2}{r^4} \int_0^x u_3(x) dx + \dots \quad (17)$$

Подставляя разложения (8)–(10), (17) в (1)–(3), и группируя члены при одинаковых степенях r , приходим к системе уравнений последовательных приближений:

– в нулевом приближении

$$P'_0(x) = 0, P_0 = C_0, C_0 = 0, \quad (18)$$

поскольку на входе в канал давление составляет $p_0 = \rho \omega^2 d_0^2 / 8$ (Рисунок 1);

– по приближениям более высокого порядка:

$$P'_1(x) = 0, P_1 = C_1 / 2, u_1'' + 2v_1 = \quad (19)$$

$$= C_1 / 2, v_1'' - 2u_1 = 0;$$

$$P'_2(x) = -2v_1 \operatorname{ctg} \alpha, P_2(x) = \quad (20)$$

$$= -C_2 / 2 - 2 \int_0^x v_1 dx \operatorname{ctg} \alpha,$$

$$u_2'' + 2v_2 = u_1' \operatorname{ctg} \alpha - \quad (21)$$

$$-P_2, v_2'' - 2u_2 = v_1' \operatorname{ctg} \alpha;$$

$$P'_3(x) = -2v_2 \operatorname{ctg} \alpha, P_3(x) = \quad (22)$$

$$= -C_3 / 4 - 2 \int_0^x v_2 dx \operatorname{ctg} \alpha,$$

$$u_3'' + 2v_3 = u_2' \operatorname{ctg} \alpha - u_1^2 - v_1^2 - 2P_3, \quad (23)$$

и т.д.,

$$v_3'' - 2u_3 = v_2' \operatorname{ctg} \alpha + \quad (24)$$

$$+ v_1 \operatorname{ctg}^2 \alpha - 2 \operatorname{ctg} \alpha \int_0^x u_2 dx,$$

где штрихами обозначены производные по x .

В соответствии с (17) для поперечной составляющей скорости жидкости будем иметь

$$w(r, x) = \frac{1}{2r^3} [v_2'(x) - v_2'(0) - v_1(x) \operatorname{ctg} \alpha] + \frac{1}{r^4} [v_3'(x) - v_3'(0) - v_2'(0) \operatorname{ctg} \alpha \cdot x - 2 \operatorname{ctg}^2 \alpha \int_0^x v_1 dx] + \dots \quad (25)$$

где входящие в (25) составляющие скорости v_1, v_2, v_3 находятся при решении систем уравнений (19)–(24).

Как видно, по своей структуре, (19), (20)–(21), (22)–(24), соответственно, представляют собой редуцированную систему трех обыкновенных дифференциальных уравнений, каждая из которых эквивалентна дифференциальному уравнению четвертого порядка по v_n

$$v_n^{IV} + 4v_n = C_n + f_{n1-}(x), n = 1, 2, \dots, \quad (26)$$

где C_n – постоянные величины, f_{n1-} – выражения, зависящие от низших приближений.

Общее решение уравнения (26) представляется в виде⁵

$$v_n(x) = C_{n1}y_1(x) + \dots + C_{n4}y_4(x) + C_n[1 - y_1(x)]/4 + \int_0^x y_4(x - \xi) f_{n-1}(\xi) d\xi, \quad (27)$$

где $y_1 = \operatorname{ch}x \cdot \operatorname{cos}x$, $y_2 = (\operatorname{ch}x \cdot \operatorname{sin}x + \operatorname{sh}x \cdot \operatorname{cos}x)/2$, $y_3 = \operatorname{sh}x \cdot \operatorname{sin}x/2$, $y_4 = (\operatorname{ch}x \cdot \operatorname{sin}x - \operatorname{sh}x \cdot \operatorname{cos}x)/4$ – функции А.Н. Крылова.

В силу (11) $C_{n1} = C_{n3} = 0$, и в результате вместо (27) имеем

$$v_n = C_{n2}y_2(x) + C_{n4}y_4(x) + C_n[1 - y_1(x)]/4 + \int_0^x y_4(x - \xi) f_{n-1}(\xi) d\xi. \quad (28)$$

Поэтому согласно (14), (19) коэффициенты C_{12}, C_{14}, C_1 по первому приближению определяются как решение системы трехлинейных неоднородных алгебраических уравнений

$$\begin{cases} y_2 C_{12} + y_4 C_{14} + 0,25(1 - y_1) C_1 = 0, \\ -4y_4 C_{12} + y_2 C_{14} + y_3 C_1 = 0, \\ C_{12}(y_1 - 1) + y_3 C_{14} + y_4 C_1 = q / (\pi \sin \alpha), \end{cases} \quad (29)$$

где использованы зависимости

$$\begin{aligned} y_1' &= -4y_4, y_2' = y_1, y_3' = y_2, y_4' = \\ &= y_3; y_1'' = -4y_3, y_2'' = -4y_4, y_3'' = \\ &= y_1, y_4'' = y_2, \end{aligned}$$

и, по умолчанию, принято $y_k = y_k(\lambda)$, $k = 1, 2, 3, 4$.

В свою очередь, коэффициенты C_{n2}, C_{n4}, C_n ($n = 2, 3, \dots$) отыскиваются аналогично на базе алгебраической системы с тем же детерминантом левой части, что и в (29), но заданными в форме

$$\begin{aligned} \int_0^\lambda y_4(x - \xi) f_{n-1}(\xi) d\xi, \int_0^\lambda y_2(x - \xi) f_{n-1}(\xi) d\xi, \\ \int_0^\lambda y_3(x - \xi) f_{n-1}(\xi) d\xi \end{aligned} \text{ правыми частями.}$$

Где, например, повторому и третьему приближениям

$$f_1(x) = (v_1^{III} + 2u_1^I + 4 \int_0^x v_1 dx) \operatorname{ctg} \alpha = \quad (30)$$

$$= (v_1^{III} + C_1 x) \operatorname{ctg} \alpha,$$

$$\begin{aligned} f_2(x) &= (v_2^{III} + 8 \int_0^x v_2 dx) \operatorname{ctg} \alpha + \\ &+ v_1^{II} \operatorname{ctg}^2 \alpha - 2(u_1^2 + v_1^2). \end{aligned} \quad (31)$$

Полученные согласно (28) зависимости для окружной скорости потока используются при определении действующего на поток крутящего момента со стороны конусов и мощности от этого момента. При расчете крутящего момента учитывается, что на единицу площади вышележащего конуса со стороны потока действует сила вязкостного трения

$$p_z \vartheta = \rho v du \vartheta / dz \text{ при } z = 0,$$

где $u \vartheta$ – размерная относительная окружная скорость частицы жидкости, или, согласно (9), в безразмерной форме

$$p_x \vartheta = v'(0), \quad (32)$$

где $p_x \vartheta$ – безразмерное касательное напряжение.

В таком случае согласно (32) на кольцевой элемент конуса с образующей dr и площадью $2\pi r dr$ действует крутящий момент

⁵ Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. 4-е изд., испр. М.: Наука, 1971. 576 с.

$$dM = 2\pi(\partial v/\partial x)r^2 dr \sin^3 \alpha, \text{ при } x = 0$$

или, с учетом (9), с достаточной точностью,

$$dM = 2\pi[v_1'(0)r + v_2'(0)]dr \sin^3 \alpha.$$

Откуда, интегрируя по r , получим (в размерных переменных)

$$M = 2\pi[v_1'(0)(r_1^2 - r_0^2) + 2v_2'(0)(r_1 - r_0)] \times \quad (33)$$

$$\times \rho \cdot \sqrt{v^5/\Omega} \cdot \sin^3 \alpha,$$

где $r_0 = \eta_0/l, r_1 = \eta_1/l$ – соответственно, наименьший и наибольший продольной размер тарелки (Рисунок 3), а также мощность момента

$$N = M \cdot \omega, \quad (34)$$

где M определяется по (33).

В свою очередь, приближенно, согласно (10) давление на выходе

$$p_1 = p_1(r_1/l) = P_0' + (r_1^2/2 + P_1 \ln r_1) \cdot \rho U^2, \quad (35)$$

где в соответствии с (18), (19) $P_0' = 0, P_1 = C_1/2$.

Результаты и их обсуждение

В качестве объекта исследования выбирался сепаратор Ж5-ОСЦП-1. Конструктивные и режимные параметры машины: число тарелок – 63; полуугол конусности тарелки $\alpha = 40^\circ$; минимальный и максимальный диаметр тарелки, соответственно, $d_0 = 0,066, d_1 = 0,175$ м, толщина МТЗ – $h = 0,4$ мм (Рисунок 1); производительность $Q = 1$ м³/час; угловая скорость ротора $\omega = 837$ рад/с; кинематическая вязкость жидкости (молока) – $\nu = 1,8 \cdot 10^{-6}$ м²/с, плотность $\rho = 1030$ кг/м³.

При численном анализе составляющих скорости потока по зависимостям (8), (9), (30), (31) ограничивались четырьмя членами в разложениях рядов, в (25) – двумя членами.

На базе близких для реальных условий значений критериальных параметров λ (безразмерной толщины МТЗ и q (безразмерного расхода) приведены отраженные графиками результаты количественного анализа кинематики потока на относительно небольшом (порядка 15λ) и сравнительно удаленном (порядка 30λ) расстоянии r от оси вращения (Рисунки 4–6).

Следует отметить, что в быстро вращающемся роторе ограниченный стенками МТЗ жидкостной поток в связанной с ротором подвижной системе отсчета подвержен действию на него силового поля значительной (по сравнению с силой тяжести) интенсивности массовых сил инерции: переносной, Кориолиса и Даламбера, а также поверхностных сил – давления и внутреннего трения (Лойцянский, 1970).

Как показывает численный анализ, влияние данных силовых факторов на движение потока существенно различается при разном удалении от оси вращения ротора (Рисунки 4–6).

Известно, что для приближенного по геометрической структуре к рассматриваемому в работе потоку между дисками, вследствие предполагае-

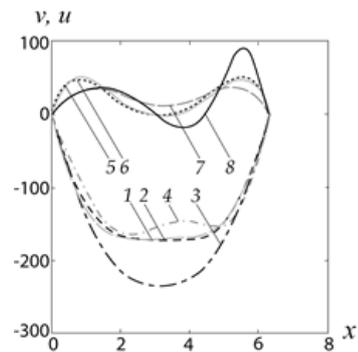


Рисунок 4. Профили безразмерных относительной окружной v и продольной скорости u жидкости при значениях режимных параметров процесса $\lambda = 2\pi, q = 10^5; r = 15\lambda$ (по скоростив: 1 – 1-ое, 2 – 2-ое, 3 – 3-е, 4 – 4-ое приближение; по скорости u : 5 – 1-ое, 6 – 2-ое, 7 – 3-е, 8 – 4-ое приближение)

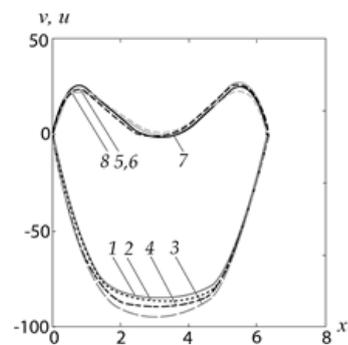


Рисунок 5. Профили безразмерных относительной окружной v и продольной скорости u жидкости при значениях режимных параметров процесса $\lambda = 2\pi, q = 10^5; r = 30 \lambda$ (по скоростив: 1 – 1-ое, 2 – 2-ое, 3 – 3-е, 4 – 4-ое приближение; по скорости u : 5 – 1-ое, 6 – 2-ое, 7 – 3-е, 8 – 4-ое приближение)

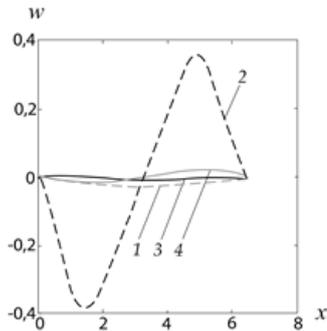


Рисунок 6. Профиль поперечной скорости w жидкости ($\lambda = 2\pi$, $q = 10^5$; $r = 15\lambda$: 1 – 1-ое, 2 – 2-ое приближение; $r = 30\lambda$: 3 – 1-ое, 4 – 2-ое приближение)

мой симметрии поля скоростей относительно середины зазора, слагаемые с четными номерами в разложениях решения для диска, аналогичные (8), (9), а вследствие (8), (17) – для поперечной скорости w , с нечетными номерами, выпадают (Kreith, 1965, р. 1189–1190; Семенов, 1997, с. 55–63; Славянский, 2007). В результате чего вклад в решение собственно по величине второй, базирующийся на решении линейной системы (21) итерации, для течения между конусами, рассматриваемого как поправка ко второй (равной нулю) итерации для диска, оказывается относительно небольшим (порядка 2% по относительной окружной v и 4% по продольной u составляющим скорости потока). Поэтому, как и в случае диска, графики 1 и 2, 5 и 6, Рисунки 4, 5 практически симметричны относительно середины МТЗ

Анализ базирующихся на втором (линейном) приближении разложений (8), (9) графиков 2 и 6 рисунков 4, 5 выявляет особенности кинематических характеристик потока как результат воздействия на него (в пренебрежении силой Даламбера) градиента $\partial P/\partial r$ динамического давления, силы Кориолиса и вязкостной силы.

Так, в силу линейности краевых задач (11), (12), (19), (21), через посредство числа q Россби (13), при фиксированном r , градиентом $\partial P/\partial r$ обеспечивается геометрическое подобие профилей для скоростей v и u , собственно, по первому и второму членам разложений (8) и (9).

Анализ графиков 1, 2 и 5, 6, рисунков 4, 5, с точки зрения их формы, свидетельствует о взаимном «упругом» влиянии на кривизну этих линий окружной и продольной составляющих силы Кориолиса. Поскольку, в соответствии с выбранными значениями параметров λ и q , согласно данным этих графиков, вследствие большой закрутки

потока вблизи оси вращения ротора, окружная скорость по абсолютной величине значительно превышает расходную скорость u потока, то относительная окружная скорость v , совместно с угловой скоростью ω ротора, индуцирует направленную против и поворотную силу. Что обуславливает замедление потока в его ядре при движении жидкости к периферии канала. В свою очередь, продольная составляющая скорости u также, но с меньшим эффектом, оказывает через воздействие на профиль скорости в окружном направлении составляющей силы Кориолиса «упругое» тормозящее влияние на поток в его ядре.

С другой стороны, из сравнения габитуса графиков 1–3 и 4, а также Графиков 5–7 и 8, Рисунок 4, можно заключить, что вблизи от входа в канал (на расстоянии порядка $r_1 = 15\lambda$) наибольшее влияние на структуру профилей скоростей v и u оказывает обусловленная конвективной составляющей движения сила Даламбера. В том числе, и от действия этой силы в продольном направлении вблизи нижней тарелки, (при $x = 2\pi$) и в окрестности середины зазора (при $x = \pi$) отмечаются зоны возвратного течения, с основным потоком жидкости в направлении периферии тарелки в интервале между двумя этими зонами.

По той же причине, вблизи от входа в канал, зависящее собственно от первых двух приближений v_1 и v_2 первое слагаемое в формуле (25) для w также мало (кривая 1, рис. 6), и вид профиля w определяется, в основном, связанной через (23) с конвективной компонентой движения потока составляющей скорости v_3 (кривая 2, рисунок 6).

Поскольку, согласно закону сохранения массы (4), и в соответствии с графиком 2 Рисунок 6, профиль скорости w относительно середины МТЗ имеет антисимметричный вид, то это показывает, что жидкость в канале отбрасывается как к нижней, так и к верхней стенкам его. В частности, отсюда следует, что в двухфазном жидкостном потоке влиянием поперечной составляющей скорости на процессе диментации взвешенных в потоке твердых частиц можно пренебречь.

С удалением от входа в канал возмущающее влияние на кинетику потока силы инерции Даламбера убывает, баланс силовых факторов – градиента динамического давления, поворотной силы Кориолиса и внутреннего трения – выравнивается, в результате чего габитусы профилей u , v , w , по последовательным итерациям, становятся мало различимыми (графики кривых Рисунок 5, кривых 3, 4, Рисунок 6). Что, в плане обоснованности при-

нятой при количественном анализе кинематики исследуемого режима течения расчетной схемы в форме краевой задачи (1)–(7), и ее решения с помощью рядов (8), (9), (17), в рамках выбранных значений критериальных величин λ и q , свидетельствует о сходимости построенного итерационного процесса на достаточно большом удалении от оси ротора.

Для получения надежных данных по профилям скоростей течения жидкости на близком (не превышающем пятнадцати зазоров канала) расстоянии от входа в канал необходимо проводить расчеты по пятому, sixthому или большему числу итераций. Однако, хотя на проведение расчетов на ПК по четырем приближениям затрачивается и незначительное (порядка 10") время, численное моделирование на базе предложенного алгоритма, из-за обусловленных нелинейностью правых частей в высших итерациях кратных квадратур все более высокого порядка, приводит к трудоемким и длительным вычислениям.

В свою очередь, на расстоянии, превышающем толщину канала в тридцать раз, можно ограничиться меньшим числом итераций.

С точки зрения анализа динамики потока нужно отметить, что отраженные графиками (Рисунок 7) результаты расчета давления по выражению (35) выявляют экспоненциальный рост этого показателя в канале при удалении от оси ротора (кривые 1, 2) и убывание давления, когда расход жидкости растет (кривая 2 ниже кривой 1). Что, применительно к расходящемуся режиму течения, вытекает из закона сохранения энергии.

На базе зависимостей (33), (34) для сепаратора Ж5-ОСЦП-1 рассчитали крутящий момент $M = 0,02\text{Н}\cdot\text{м}$ и полезную мощность двигателя

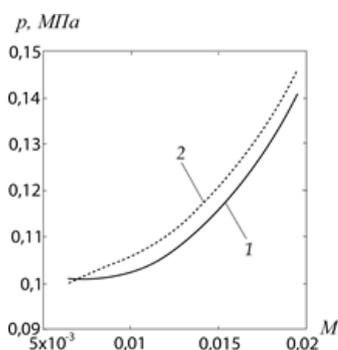


Рисунок 7. Зависимости давления p (МПа) жидкости от продольной координаты r (м) и безразмерного расхода q ($\lambda = 2\pi$: 1 – $q = 10^4$, 2 – $q = 10^5$)

$N = 1,06$ кВт. Поскольку номинальная мощность двигателя 1,5 кВт, то полученное расчетное значение мощности следует считать близким номинальной. Пониженная, по сравнению с номинальной мощностью, величина этого показателя объясняется тем, что, кроме затрачиваемой на вращение ротора полезной работы, энергия двигателя расходуется на поддержание жидкостного напора, а также работу по преодолению внешних сил сопротивления (трения в подшипниках, трения воздушного потока о ротор и др.). Полученные данные свидетельствуют об их непротиворечивости и согласии с физическим смыслом результатов в целом количественного анализа гидродинамики исследуемого щелевого потока.

Выводы

Таким образом, в рамках сформулированной на базе законов сохранения импульса и массы краевой задачи для тонкослойного циркулирующего потока В.Ж. от линейного источника на оси двух эквидистантных вращающихся с постоянной частотой вращения конусов предлагается универсальный алгоритм для расчета гидродинамических характеристик исследуемого течения. Количественным анализом выявлены необходимые для инженерных расчетов особенности кинематики течения, расхода и давления жидкости. На конкретном примере машины рассчитывается мощность действующего на поток крутящего момента, с обоснованием согласия результатов расчетов по номинальной мощности двигателя.

Литература

- Александров О.Е. Идеальная центрифуга // Журнал технической физики. 2000. Т. 70, № 9. с. 24–29.
- Аристов С.Н., Князев Д.В. Течения вязкой жидкости между подвижными параллельными плоскостями // Известия РАН Механика жидкости и газа. 2012. № 4. с. 55–61.
- Блинов Д., Рябчук Г. Математическое моделирование процесса нанесения двухслойной оболочки: математическое моделирование процесса нанесения двухслойной оболочки на сферические гранулы в центробежном поле. L.P.Lambert Academic Publishing, 2011. 148 с. (Russian Edition)
- Бэтчелор Д. Введение в динамику жидкости / пер. с англ. Д. Бэтчелор. М.: Мир, 1973. 758 с.
- Жуков В.Г. Центробежная радиальная фильтрация в условиях переменной проницаемости пористого осадка // Теоретические основы химической технологии. 1991. Т. 25, № 6. с. 747–751.

- Жуков В.Г., Чесноков В.М. Давление в тонкослойном потоке жидкости тарельчатого центробежного сепаратора // Теоретические основы химической технологии. 2016. Т. 50, № 6. с. 683–693. <https://doi.org/10.7868/S004035711606021X>
- Карамзин А.В., Семенов Е.В. Количественный анализ процесса фракционирования тонкодисперсных частиц в центробежном сепараторе // Журнал прикладной химии. 2012. Т. 85, № 10. с. 1619–1624.
- Карпычев В.А., Семенов Е.В. Гидромеханические процессы технологической обработки молочных продуктов. М.: Легкая и пищевая промышленности, 1982. 240 с.
- Кирыков С.И., Митрофанов Ю.А. Специальное центробежное оборудование для разделения жидких неоднородных сред // Цветные металлы. 2012. № 1. с. 46–49.
- Князев Д.В. Осесимметричные течения несжимаемой жидкости между подвижными вращающимися дисками // Известия РАН Механика жидкости и газа. 2011. № 4. с. 59–66.
- Кот Ю.Д. Математические зависимости процесса центрифугирования утфелей // Труды В.И.СП. 1964. Вып. 12. с. 227–237.
- Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Наука, 1970. 823 с.
- Нигматулин Р.И. Основы механики многофазных смесей. М.: Наука, 1987. Ч. 2. 464 с.
- Пожарский Ю.М. Разработка и математическое моделирование центробежного дискового сепаратора на постоянных магнитах / автореф. на соиск. ученой степ. канд. техн. наук: 05.05.06 – горные машины. Владикавказ, 2002. 17 с.
- Романков П.Г., Плюшкин С.А. Жидкостные сепараторы. Л.: Машиностроение, 1976. 328 с.
- Семенов Е.В. К обоснованию асимптотического решения для ламинарного течения жидкости между двумя вращающимися дисками // Прикладная механика и техническая физика. 1997. Т. 38, № 3. с. 55–63.
- Семенов Е.В., Славянский А.А., Карамзин В.А. Количественное моделирование процесса разделения суспензий в роторе фильтрующей центрифуги периодического действия // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2014. № 11. с. 7–10.
- Семенов Е.В., Славянский А.А., Карамзин А.В. К расчету гидродинамических характеристик тарельчатого сепаратора // Хранение и переработка сельхозсырья. 2017. № 6. с. 39–45.
- Хаппель Д., Бреннер г. Гидродинамика при малых числах Рейнольдса. М.: Мир, 1976. 630 с.
- Шкоропад Д.Е. Центрифуги для химических производств. М.: Машиностроение, 1975. 248 с.
- Debuchy R., Dument A., Muhe H., Micheau P. Radial inflow between a rotating and stationary disc // European Journal of Mechanics - B.Fuids. 1998. Vol. 17, issue 6. P. 791–810. [https://doi.org/10.1016/S0997-7546\(99\)80014-4](https://doi.org/10.1016/S0997-7546(99)80014-4)
- Kreith F. Reverse transition in radial source flow between two parallel planes // The Physics of Fluids. 1965. Vol. 8, issue 6. P. 1189–1190. <https://doi.org/10.1063/1.1761374>
- Peube J.-L., Kreith F. L'écoulement permanent d'un fluide visqueux incompressible entre deux disques parallèles en rotation // Journal de Mécanique. 1966. Vol. 5. P. 261–286.

About the Fluid Flow in the Centrifugal Separator

Anatoliy A. Slavyanskiy

*Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovsky
(the First Cossacs University)
73, Zemlyanoy Val str., Moscow, 109004, Russian Federation
E-mail: slavyanskiyaa@mgutm.ru*

Evgeniy V. Semenov

*Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovsky
(the First Cossacs University)
73, Zemlyanoy Val str., Moscow, 109004, Russian Federation
E-mail: sem-post@mail.ru*

Vera A. Gribkova

*Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovsky
(the First Cossacs University)
73, Zemlyanoy Val str., Moscow, 109004, Russian Federation
E-mail: vera_gribkova@list.ru*

Natalia V. Nikolaeva

*Moscow State University of Technology and Management named after K.G. Razumovsky
(the First Cossacs University)
73, Zemlyanoy Val str., Moscow, 109004, Russian Federation
E-mail: nata_nik@inbox.ru*

Features of the flow modes of viscous incompressible fluid in the cavity between the two rotating cones make a big difference due to the importance of the problem of analyzing the characteristics of the kinetics of these streams for centrifugal separating equipment in the dairy, meat, microbiological and other related industries. It is obvious that to study the kinetic patterns of fluid movement in a narrow gap between the two neighboring truncated cones it is necessary to have a correct apparatus of mathematical modeling of the current in this gap, bearing in mind that the flow induced by a linear source on the rotor rotation axis approximates the flow of the loosely concentrated system «liquid + solid» in the slit cavity between the separator plates. The aim in this paper: based on the laws of maintaining the pulse and mass of the liquid to obtain an asymptotically accurate solution to the problem for the analyzed flow; on the basis of the received solution, in a criminal form, to investigate the dependence of kinetic characteristics of the flow from the current criteria; to justify the adequacy of the results of the calculation to the regime parameters of the operating equipment. In the implementation of the solution of the problem of the kinetics of a liquid flow, constructed in the form of a parametrically dependent on the criterial parameters of the functional series, an algorithm for determining the members of the constructed series is proposed in the form of an iterative procedure. On the basis of this algorithm, a numerical study was carried out with a meaningful analysis of the velocity and pressure field of the flow under consideration according to the values of the criterion parameters characteristic of industrial separation equipment.

Keywords: separator, tapered insertion, viscous incompressible liquid, kinetics of the stream.

References

- Aleksandrov O.E. Ideal'naya tsentrifuga [The ideal centrifuge]. *Zhurnal tekhnicheskoi fiziki [Journal of technical physics]*, 2000, vol. 70, no. 9, pp. 24–29.
- Aristov S.N., Knyazev D.V. Tcheniya vyazkoi zhidkosti mezhdu podvizhnymi parallel'nymi ploskostyami [Flow of viscous fluid between moving parallel planes]. *Izvestiya R.N. Mekhanika zhidkosti i gaza [News of the Russian Academy of Sciences. Fluid and gas mechanics]*, 2012, no. 4, pp. 55–61.
- Blinov D., Ryabchuk G. Matematicheskoe modelirovanie protsessa naneseniya dvukhsloinoi obo-lochki: matematicheskoe modelirovanie protsessa

- naneseniya dvukhsloinoi obolochki na sfericheskie granuly v tsentrobeznom pole [Mathematical modeling of the two-layer coating process]. LAP. Lambert Academic Publishing, 2011, 148 p.
- Betchelor D. Vvedenie v dinamiku zhidkosti [Introduction to fluid dynamics]. Moscow: Mir, 1973. 758 p.
- Zhukov V.G. Tsentrobezhnaya radial'naya fil'tratsiya v usloviyakh peremennoi pronitsaemosti poristogo osadka [Centrifugal radial filtration under conditions of variable permeability of porous sediment]. *Teoreticheskie osnovy khimicheskoi tekhnologii* [Theoretical foundations of chemical technology], 1991, vol. 25, no. 6, pp. 747–751.
- Zhukov V.G., Chesnokov V.M. Davlenie v tonkosloinnoy potoke zhidkosti tarel'chatogo tsentrobezhnogo separatora [Pressure in the thin-layer liquid flow of the disc centrifugal separator]. *Teoreticheskie osnovy khimicheskoi tekhnologii* [Theoretical foundations of chemical technology], 2016, vol. 50, no. 6, pp. 683–693. <https://doi.org/10.7868/S004035711606021X>
- Karamzin A.V., Semenov E.V. Kolichestvennyi analiz protsessy fraktsionirovaniya tonkodispersnykh chastits v tsentrobeznom separatore [A quantitative analysis of the fractionation of fine particulate matter in a centrifugal separator]. *Zhurnal prikladnoi khimii* [Journal of Applied Chemistry], 2012, vol. 85, no. 10, pp. 1619–1624.
- Karpychev V.A., Semenov E.V. Gidromekhanicheskie protsessy tekhnologicheskoi obrabotki molochnykh produktov [Hydro-mechanical processes of technological processing of dairy products]. Moscow: Legkaya i pishchevaya promyshlennosti, 1982. 240 p.
- Kiryakov S.I., Mitrofanov Yu.A. pppetsial'noe tsentrobeznoye oborudovanie dlya razdeleniya zhidkikh neodnorodnykh sred [Special centrifugal equipment for separation of liquid inhomogeneous media]. *Tsvetnye metally* [Nonferrous metal], 2012, no. 1, pp. 46–49.
- Knyazev D.V. Osesimmetrichnyye techeniya neszhimaemoy zhidkosti mezhdum podvizhnymi vrashchayushchimisya diskami [Axisymmetric flow of an incompressible fluid between rotating disks moving]. *Izvestiya R.N. Mekhanika zhidkosti i gaza* [News of the Russian Academy of Sciences. Fluid and gas mechanics], 2011, no. 4, pp. 59–66.
- Kot Yu.D. Matematicheskie zavisimosti protsessy tsentrifugirovaniya utfelei [Mathematical dependences of the process of centrifugation of wafers]. *Trudy V.I.SP* [Proceedings of the all-union scientific research institute of agricultural products], 1964, vol. 12, pp. 227–237.
- Loitsyanskii L.G. Mekhanika zhidkosti i gaza [Fluid and gas mechanics]. Moscow: Nauka, 1970. 823 p.
- Nigmatulin R.I. Osnovy mekhaniki mnogofaznykh smesei [Fundamentals of mechanics of multiphase mixtures]. Moscow: Nauka, 1987. Part 2. 464 p.
- Pozharskii Yu.M. Razrabotka i matematicheskoe modelirovanie tsentrobezhnogo diskovogo separatora na postoyannykh magnitakh. Avtopref. diss. kand. tekhn. nauk. [Development and mathematical modeling of a centrifugal disk separator on permanent magnets. Abstract of Ph.D. (Technical) thesis]. Vladikavkaz, 2002. 17 p.
- Romankov P.G., Plyushkin S.A. Zhidkostnyye separatory [Liquid separators]. Leningrad: Mashinostroenie, 1976. 328 p.
- Semenov E.V. K obosnovaniyu asimptoticheskogo resheniya dlya laminarnogo techeniya zhidkosti mezhdum dvumya vrashchayushchimisya diskami [To substantiate an asymptotic solution for laminar fluid flow between two rotating disks]. *Prikladnaya mekhanika i tekhnicheskaya fizika* [Applied mechanics and technical physics], 1997, vol. 38, no. 3, pp. 55–63.
- Semenov E.V., Slavyanskii A.A., Karamzin V.A. Kolichestvennoye modelirovanie protsessy razdeleniya suspenzii v rotore fil'truyushchei tsentrifugi periodicheskogo deistviya [Quantitative modeling of the suspension separation process in the rotor of a batch filter centrifuge]. *Khimicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie* [Chemical and oil and gas engineering], 2014, no. 11, pp. 7–10.
- Semenov E.V., Slavyanskii A.A., Karamzin A.V. K raschetu gidrodinamicheskikh kharakteristik tarel'chatogo separatora [To calculate the hydrodynamic characteristics of the plates separator]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and processing of agricultural raw materials], 2017, no. 6, pp. 39–45.
- Khappel' D., Brenner G. Gidrodinamika pri malykh chislakh Reinal'das [Hydrodynamics at small Reynolds numbers]. Moscow: Mir, 1976. 630 p.
- Shkoropad D.E. Tsentrifugi dlya khimicheskikh proizvodstv [Centrifuges for chemical production]. Moscow: Mashinostroenie, 1975, 248 p.
- Debuchy R., Dument A., Muhe N., Micheau P. Radial Inflow Between a Rotating and Stationary Disc. *European Journal of Mechanics - B.F.uids*. 1998, vol. 17, issue 6, pp. 791–810. [https://doi.org/10.1016/S0997-7546\(99\)80014-4](https://doi.org/10.1016/S0997-7546(99)80014-4)
- Kreith F. Reverse Transition in Radial Source Flow Between Two Parallel Planes. *The Physics of Fluids*, 1965, vol. 8, issue 6, pp. 1189–1190. <https://doi.org/10.1063/1.1761374>
- Peube J.-L., Kreith F. L'ecoulement Permanent D'un Fluidevisqueux Incompressible Entre Deuxdisquesparallelesen Rotation [The Permanent Flow of an Incompressible Viscous Fluid Between Two Rotating Parallel Discs]. *Journal de Mécanique* [Mechanics Journal], 1966, vol. 5, pp. 261–286.

Исследования технологических процессов производства пищевых эмульгаторов на основе рапсового масла

Ксенафонтов Денис Николаевич

ООО «Зеленые линии»

Адрес: 143405, Московская область, город Красногорск, Ильинский тупик, д. 6 итк 35

E-mail: ksefontov@ssnab.ru

Вьюшинский Павел Александрович

ООО «Зеленые линии»

Адрес: 143405, Московская область, город Красногорск, Ильинский тупик, д. 6 итк 35

E-mail: vyushinskij@ssnab.ru

Загородников Константин Андреевич

ФГБОУ ВО «МГУПП»

Адрес: 125371, город Москва, Волоколамское шоссе, д. 11

E-mail: pss28@mail.ru

Якушев Алексей Олегович

ФГБОУ ВО «МГУПП»

Адрес: 125371, город Москва, Волоколамское шоссе, д. 11

E-mail: pss28@mail.ru

Актуальным вопросом современной пищевой промышленности является совершенствование производственных процессов и технологий по разработке и синтезу современных эмульгаторов на основе доступного для нашей страны сырья - рапсового масла. При финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, Московский государственный университет пищевых производств, совместно с ООО «Зеленые линии» реализует проект «Разработка технологии и создание отечественного производства пищевых эмульгаторов путём глубокой переработки масложирового сырья». В рамках данного проекта было проведено исследование влияния модификации реакционной среды и физических параметров на свойства эмульгаторов. Суть исследования заключается в том, что состав реакционной среды влияет на состав и физические свойства получаемых продуктов. Реакционная среда влияет на катализатор, изменяя его состояние - состав, структуру, свойства. Эффективность процесса определяется прежде всего этим состоянием, которое в нестационарном режиме часто обеспечивает большую активность и, что особенно важно, селективность катализатора по сравнению со стационарным состоянием, когда состав и температура газовой фазы не изменяются во времени. В результате исследования было получено, что при изменении температурных режимов молекулярной дистилляции происходит изменение скорости кристаллизации конечного продукта. Такие же процессы происходят при изменении давления в испарителе. Содержание моноэфиров в рамках исследуемой экспериментальной партии эмульгаторов без дистилляции составило 60 %, что показало необходимость дистилляции наработанной экспериментальной партии. Полученные результаты показывали дальнейшее направление разработки технологии и создания отечественного производства пищевых эмульгаторов путём глубокой переработки масложирового сырья.

Ключевые слова: Эмульгатор, разработка, техническое решение, производство, технологические процессы, пищевая промышленность

Введение

В настоящее время развитие масложирового производства обусловлено использованием рапсового масла (Терещук, Савельев, 2010, с. 54а-59; Берестова, Зинюхин, Межуева, 2014, с. 150–155). Одним из

направлений современных исследований в рассматриваемой области является проект «Разработка технологии и создание отечественного производства пищевых эмульгаторов путём глубокой переработки масложирового сырья»¹, реализуемый Московским государственным университетом пи-

¹ Техника и технологии производства и переработки растительных масел: учебное пособие / С.А. Нагорнов, Д.С. Дворецкий, С.В. Романцова, В.П. Таров. Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. 96 с.

щевых производств, совместно с ООО «Зеленые линии» при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (Соглашение 075-11-2019-042 от «26» ноября 2019 г.).

В рамках рассматриваемого проекта при разработке технологии глубокой переработки масложирового сырья использовано рапсовое масло. К основным причинам выбора данного направления относятся следующие :

- рапсовое масло относится к умеренно ненасыщенным (т.н. «полувысыхающим») маслам, оно хорошо гидрируется: как на никелевых, так и на палладиевых катализаторах (Бутова, Шахова, Панина, 2018, с. 38-43);
- одними из наиболее важных продуктов его глубокой переработки могут являться т.н. «олигоглицериды» сложные моно- и ди- эфиры глицерина и карбоновых кислот – от уксусной (моноацетин и диацетин) до жирных кислот таких, как олеиновая (ц-С18:1), пальмитиновая (С16:0) и стеариновая (С18:0). Молекулы данных олигоглицеридов содержат в себе гидрофобный остаток высшей жирной кислоты (в положении 1 или 2 глицерина) и гидрофильный остаток глицерина (Вдовичева, Гущина, Тихомиров, 2016, с. 158-163). Эти вещества обнаруживают спектр ценных химических свойств, имеющих применение в пищевой промышленности для изготовления эмульгаторов²;
- одним из важных свойств является способность этих веществ образовывать и стабилизировать прямые и обратные эмульсии типа «масло в воде» и «вода в масле». Таким образом, эти соединения относятся к неионогенным поверхностно-активным веществам, которые в свою очередь применяются для изготовления продукции различного назначения (Fregolente, Batistella, Filho, Maciel, 2006, p. 680-693).

Рассмотрим результаты исследований и технологическую схему, используемую в рассмотренном проекте.

Материалы и методы исследования

Программа отработки технологических процессов

В рамках проекта была определена программа отработки технологических процессов экспериментальных партий инновационных эмульга-

торов. Программа отработки технологических процессов включает в себя следующие основные стадии:

- на 1-ой стадии происходит смешивание глицерина и масла, при пониженном давлении (5 мм.рт.ст./105 °С) происходит высушивание и деаэрация при интенсивном перемешивании;
- на 2-ой стадии создается инертная атмосфера в реакционной, и добавляется катализатор;
- на 3-ей стадии происходит повторная деаэрация реакционной смеси;
- на 4-ой стадии происходит непосредственно процесс глицеролиза при 210°;С
- на 5-ой стадии происходит нейтрализация катализатора минеральной кислотой, фильтрование минерального остатка;
- на 6-ой стадии происходит вакуумное фракционирование реакционной смеси, которая приводит к целевому продукту.

Лабораторный стенд, предназначенный для отработки технологических процессов

В рамках реализации методики испытаний был разработан лабораторный стенд, предназначенный для отработки технологических процессов и параметров получения химических соединений с заданными физико-химическими свойствами с последующей разработкой исходных данных для проектирования промышленной линии.

Лабораторный стенд для наработки состоит из следующих отдельных блоков:

- блок гидрирования рапсового масла;
- блок гидролиза рапсового масла;
- блок нейтрализации гидрогенизированных жирных кислот;
- блок-дезодоратор гидрогенизированных жирных кислот;
- блок глицеролиза гидрогенизированных жирных кислот;;
- блок фракционирования олигоглицеридов;
- мембранный фильтр-пресс;
- корпусный блок;
- система управления;
- блок охлаждения.

Блоки имеют следующие особенности:

Химические блоки стенда являются вертикальными, цилиндрическими устройствами среднего и

² Пищевая химия. Добавки: учебное пособие / Л.В. Донченко, В.Н. Сокол, Е.В. Щербакова, Е.А. Красноселова. 2-е изд., испр. и доп. М.: Издательство Юрайт, 2019. 223 с.

низкого давления, снабженные охлаждаемой/подогреваемой рубашкой и мешалкой.

В конструкции химических блоков предусмотрено расположения внутренних датчиков для анализа температуры и давления, и необходимое количество входных фланцев для подвода реагентов.

Контроль каждой стадии осуществляется автономно. Регулируемыми и контролируемыми параметрами являются: температура, давление, скорость перемешивания продукта, кислотность среды.

Помимо этого, необходим подбор концентрации щелочного катализатора. Количество вносимого катализатора, проводимое на стадии глицеролиза, определяется исходя из химического состава гидрогенизированных триглицеридов. При внесении недостаточного количества – скорость реакции может упасть более чем на 90%. При его избытке-происходит защелачивание среды, что приводит к необходимости дополнительной очистки конечного продукта из реакционной смеси.

Разрабатываемая методика получения олигоглицеридных эмульгаторов предусматривает оптимизацию процесса получения химических веществ, подбор оптимальных параметров проведения химических реакций для максимизации выхода целевых соединений³.

Методы лабораторного анализа

Получаемый продукт, для оценки его качества, подвергся лабораторному анализу с использованием следующих лабораторных методов (Rarokar, Menghani, Kerzare, Khedekar, 2017):

- превращение глицерина, моно-, ди-, триглицеридов в более летучие силильные производные в присутствии пиридина и N-метил-N-(триметилсилил)трифторацетамида (MSTFA);
- растворение определенной массы растительного масла в растворителях или смеси растворителей с последующим титрованием имеющихся свободных жирных кислот водным или спиртовым раствором гидроокиси калия или гидроокиси натрия;
- получение золы – остатка минеральных веществ, образующегося в результате полного сжигания органической части навески продукта и последующего весового определения массовой доли золы;

- минерализация продукта способом сухого или мокрого озоления и определении концентрации элемента в растворе минерализата методом пламенной атомной абсорбции;
- измерение интенсивности окраски раствора комплексного соединения мышьяка с диэтилдитиокарбаматом серебра в хлороформе;
- определение количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов посевом в агаризованные питательные среды основан на высеве продукта или разведения навески продукта в питательную среду, инкубировании посевов, подсчете всех выросших видимых колоний;
- определение НВЧ мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов основан на высеве продукта и (или) разведений навески продукта в жидкую питательную среду, инкубировании посевов, учете видимых признаков роста микроорганизмов, пересеве, при необходимости, культуральной жидкости на агаризованные питательные среды для подтверждения роста микроорганизмов, подсчете их количества с помощью таблицы НВЧ;
- выявление и определение НВЧ колиформных бактерий;
- выявления и определение НВЧ *E. Coli*.

При проведении испытаний использовались следующие основные методы:

- первый метод заключался в превращении глицерина, моно-, ди-, триглицеридов в более летучие силильные производные в присутствии пиридина и N-метил-N-(триметилсилил)трифторацетамида (MSTFA);
- второй метод заключался в растворении определенной массы растительного масла в растворителях или смеси растворителей с последующим титрованием имеющихся свободных жирных кислот водным или спиртовым раствором гидроокиси калия или гидроокиси натрия;
- третий метод был основан на получении золы - остатка минеральных веществ, образующегося в результате полного сжигания органической части навески продукта и последующего весового определения массовой доли золы;
- четвертый метод был основан на минерализации продукта способом сухого или мокрого озоления и определении концентрации элемента в растворе минерализата методом пламенной атомной абсорбции;

³ Акаева Т.К., Петрова С.Н. Основы химии и технологии получения и переработки жиров: учебное пособие. Иваново: Ивановский государственный химико-технологический университет, 2007. Ч. 1. 124 с.

- пятый метод был основан на измерении интенсивности окраски раствора комплексного соединения мышьяка с диэтилдитиокарбаматом серебра в хлороформе;
- шестой метод был основан на экстракционном концентрировании ртути раствором дитизона в четыреххлористом углеводе, восстановлении ртути в органической фазе после гомогенизации этиловым спиртом и последующем определении ее абсорбцией «холодных паров».

Метод определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов посевом в агаризованные питательные среды основан на высеве продукта или разведения навески продукта в питательную среду, инкубировании посевов, подсчете всех выросших видимых колоний

Метод определения НВЧ мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов основан на высеве продукта и (или) разведений навески продукта в жидкую питательную среду, инкубировании посевов, учете видимых признаков роста микроорганизмов, пересеве, при необходимости, культуральной жидкости на агаризованные питательные среды для подтверждения роста микроорганизмов, подсчете их количества с помощью таблицы НВЧ.

Методы выявления и определения НВЧ колиформных бактерий основаны на высеве определенного количества продукта и (или) разведений навески продукта в жидкую селективную среду с лактозой, инкубировании посевов, учете положительных пробирок, пересеве культуральной жидкости в жидкую селективную среду для учета газообразования или пересева, при необходимости, культуральной жидкости на поверхность агаризованной селективно-диагностической среды для подтверждения по биохимическим и культуральным признакам роста принадлежности выделенных колоний к колиформным бактериям.

Методы выявления и определения НВЧ колиформных бактерий основаны на высеве определенного количества продукта и (или) разведений навески продукта в жидкую селективную среду с лактозой, инкубировании посевов, учете положительных пробирок, пересеве культуральной жидкости в жидкую селективную среду для учета газообразования или пересева, при необходимости, культуральной жидкости на поверхность агаризованной селективно-диагностической среды для подтверждения по биохимическим и культу-

ральным признакам роста принадлежности выделенных колоний к колиформным бактериям.

Методы выявления и определения НВЧ *E.Coli* основаны на высеве определенного количества продукта и (или) разведений навески продукта в жидкую селективную среду с лактозой, инкубировании посевов, учете положительных колб (пробирок), пересеве культуральной жидкости на поверхность агаризованной селективно-диагностической среды для дальнейшего подтверждения по биохимическим и культуральным признакам роста принадлежности выделенных колоний к *E.coli*.

Методы определения количества *E.coli* посевом в или на агаризованные селективно-диагностические среды основаны на высеве определенного количества продукта или его разведений в или на агаризованную селективно-диагностическую среду, инкубировании посевов, подсчете типичных для *E.coli* колоний, подтверждении по биохимическим и культуральным признакам роста принадлежности выделенных колоний к *E.coli*.

Методы выявления и определения НВЧ *S. aureus* посевом с предварительным обогащением основаны на высеве навески продукта и (или) разведении навески продукта в жидкую селективную среду, инкубировании посевов, пересеве культуральной жидкости на поверхность агаризованной селективно-диагностической среды, подтверждении по биохимическим признакам принадлежности выделенных характерных колоний к *S. Aureus*

Методы выявления и определения количества *S. aureus* посевом на агаризованные селективно-диагностические среды основаны на высеве навески продукта или разведения навески продукта на агаризованную селективно-диагностическую среду, инкубировании посевов, подсчете количества характерных колоний (при определении количества *S. aureus*), подтверждении по биохимическим признакам принадлежности выделенных характерных колоний к *S. aureus*.

Метод определения количества бактерий вида *Pseudomonas aeruginosa* посевом на агаризованные селективно-диагностические среды основан на высеве определенного количества продукта и/или его разведений на поверхность агаризованной селективно-диагностической среды, инкубировании посевов, подсчете типичных колоний, подтверждении по биохимическим признакам принадлежности выделенных типичных колоний к бактериям вида *Pseudomonas aeruginosa*.

Процедура наработки эмульгатора

Наработка эмульгаторов и исследование их характеристик реализована на разработанном лабораторном стенде. Процесс наработки эмульгатора включает следующие стадии (Nord, 2015):

Процесс гидрогенизации

Емкость вакуумируется, жидкое рапсовое масло засасывается в емкость, включаются мешалка и вакуумный насос, масло нагревается до 110-120°C и циркулируется циркуляционным насосом для удаления влаги. После высушивания масла через воронку подачи сухих компонентов засасывается никель-платиновый катализатор, емкость несколько раз продувается аргоном для удаления растворенного кислорода. Открывается подача водорода для создания рабочего давления (до 20 бар), включается нагреватель. Реакция проводится под температурным контролем. Первичный нагрев ведется до 120-140°C, затем смесь разогревается самопроизвольно благодаря экзотермическому эффекту при поглощении водорода. Температура контролируется в пределах 200°C.

После окончания реакции прекрывается подача водорода, смесь охлаждается подачей теплоносителя (воды) в контур охлаждения. Охлаждение ведется до 100-105°C. Избыточное давление снимается путем стравливания в атмосферу. Емкость вакуумируется и несколько раз продувается аргоном для удаления растворенного водорода. Для осаждения катализатора через воронку подачи сухих компонентов засасывается отбельная глина, ведется перемешивание в течение 1 часа, затем смесь с температурой 90-100°C пропускается через фильтр для удаления отработанного катализатора и направляется на выгрузку или по обогреваемому трубопроводу в реакторы гидролиза.

Процесс гидролиза

Расплавленное гидрогенизированное рапсовое масло перекачивается в емкость из реактора гидрирования (засасыванием с предварительным вакуумированием емкости). Включаются нагрев и перемешивание. Емкость вакуумируется и несколько раз продувается аргоном для удаления растворенного кислорода. В емкость подается рассчитанное количество воды, после чего смесь нагревается до 220-250°C и выдерживается в течение необходимого времени. После окончания реакции смесь охлаждается до 90-95°C, перемешивание выключается. После того как произойдет разделение жировой и водно-глицериновой фаз,

последняя (нижняя) фаза сливается через кран выгрузки в нижней части емкости. В емкость заливается новая порция воды, процедура повторяется до этапа охлаждения смеси включительно. Вторая порция водно-глицериновой смеси сливается через кран выгрузки, продукты реакции (смесь предельных жирных кислот) направляется на стадию нейтрализации.

Процесс нейтрализации

Расплавленная смесь предельных жирных кислот перекачивается в емкость из реактора гидролиза (засасыванием с предварительным вакуумированием емкости). Включаются нагрев и перемешивание. Смесь нагревается до 80-90°C. Через воронку в емкость подается раствор щелочи, перемешивание ведется до окончания протекания реакции. После завершения реакции смесь пропускается через обогреваемую центрифугу для отделения соапстока, жировая фаза возвращается в емкость циркуляционным насосом. После отделения соапстока к нейтрализованной смеси прибавляется рассчитанное количество воды. Промывание проводится при температуре 80-90°C и перемешивании, после чего водная фаза удаляется на обогреваемой центрифуге, жировая возвращается в емкость циркуляционным насосом. После отделения воды проводится просушка – включается вакуумный насос, смесь нагревается до 110-120°C и циркулирует в емкости для удаления влаги. После окончания сушки смесь охлаждается до 80-90°C.

Процесс отбеливания

После отделения соапстоков смесь нагревается до 100-105°C. Через воронку подачи сухих компонентов засасывается отбельная глина, при перемешивании проводится отбеливание. После окончания процесса смесь пропускается через обогреваемый фильтр для отделения отбельной глины и выгружается из емкости или подается в реактор дедорации.

Процесс дедорации

Расплавленная смесь предельных жирных кислот перекачивается в емкость из реактора нейтрализации (засасыванием с предварительным вакуумированием емкости). Рафинация жирных кислот проходит при создаваемом вакууме в 7 мм рт. ст. и температурном интервале от 220 до 250°C. Конденсация летучих соединений происходит на пластинчатых конденсаторах с последующим их отводом из реакционной среды. Очищенный про-

дукт через выгрузной штуцер поступает в реактор глицеролиза.

Процесс глицеролиза

Расплавленное гидрогенизированное рапсовое масло перекачивается в емкость из реакторов или извне (засасыванием с предварительным вакуумированием емкости). Масло нагревается до 110-120°C и высушивается прокачиванием циркуляционным насосом (если необходимо). Включаются нагрев и перемешивание. В емкость подается глицерин (засасыванием с предварительным вакуумированием емкости), через воронку подачи сухих компонентов засасывается катализатор. Емкость вакуумируется и несколько раз продувается аргоном для удаления растворенного кислорода, затем вакуумируется снова. Смесь нагревается до 180-220°C и выдерживается при перемешивании заданное время. После окончания реакции смесь охлаждается до 150°C, засасыванием через воронку в емкость подает-

ся фосфорная кислота, после чего смесь охлаждается до 80-90°C. После окончания процесса смесь пропускается через обогреваемый фильтр для удаления катализаторного шлама, после чего подается на обогреваемую центрифугу для удаления глицерина и затем направляется на выгрузку или перекачивается в реактор. Таким образом, непрореагировавший глицерин поступает на рециркуляцию, что способствует снижению уровня отходов и увеличению конвекции реакции.

Результаты исследования

В соответствии с вышеописанной программой и методикой исследовательских испытаний технологического процесса 1 и 2 производства эмульгатора 1 и эмульгатора 2 была проведена наработка экспериментальной партии без дистилляции эмульгатора 1, результаты которых отражены ниже в Таблице 1.

Результаты анализа представлены в Таблице 2

Таблица 1
Результаты отработки технологии изготовления

№	Отрабатываемая технологическая последовательность	Статус	Результат*	Комментарии
1.	Приготовление дезинфицирующих растворов	Выполнено	Удовлетворительно	Отсутствуют
2.	Санитарная подготовка оборудования, помещений, персонала	Выполнено	Удовлетворительно	Отсутствуют
3.	Подготовка воды	Выполнено	Удовлетворительно	Отсутствуют
4.	Загрузка сырья и вакуумирование	Выполнено	Удовлетворительно	
5.	Загрузка катализатора	Выполнено	Удовлетворительно	Отсутствуют
6.	Нагрев и экспозиция	Выполнено	Удовлетворительно	Отсутствуют
7.	Нейтрализация	Выполнено	Удовлетворительно	Отсутствуют
8.	Охлаждение смеси	Выполнено	Удовлетворительно	Отсутствуют
9.	Фильтрация	Выполнено	Удовлетворительно	Отсутствуют
10.	Отделение глицерина	Выполнено	Удовлетворительно	Отсутствуют
11.	Повторное вакуумирование и сушка	Выполнено	Удовлетворительно	Отсутствуют

Результаты соответствуют ГОСТ 14.004-83, ГОСТ Р ИСО 9001-2015, ГОСТ Р 52249-2009.

Таблица 2
Результаты анализа полученного продукта

№	Качественные показатели	Соответствие нормативам	Результат	Комментарии*
1.	Содержание моноэфиров	Не менее 90 %	60%	Соответствует нормативам
2.	Внешний вид	Порошок, воскообразное вещество или маслянистая жидкость от белого до коричневого цвета	воскообразное вещество светло-коричневого цвета	Соответствует нормативам
3.	Свободный глицерин	Не более 2%	0,1 %	Соответствует нормативам

Таблица 2

№	Качественные показатели	Соответствие нормативам	Результат	Комментарии*
4.	Количество кислот	Не более 3	1	Соответствует нормативам
5.	Зольность	Не более 2 %	0,5 %	Соответствует нормативам
6.	Содержание тяжелых металлов	Не более 20,0 мг/кг	1 мг/кг	Соответствует нормативам
7.	Свинец	Не более 2,0 мг/кг	0,9 мг/кг	Соответствует нормативам
8.	Мышьяк	Не более 3,0 мг/кг	1,0 мг/кг	Соответствует нормативам
9.	Ртуть	Не более 1,0 мг/кг	0,03 мг/кг	Соответствует нормативам
10.	Кадмий	Не более 1,0 мг/кг	0,8 мг/кг	Соответствует нормативам
11.	Микроорганизмы	Не более 1000 КОЕ/г	5 КОЕ/г	Соответствует нормативам
12.	Дрожжи	Не более 10 КОЕ/г	0,4 КОЕ/г	Соответствует нормативам
13.	Плесень	Не более 10 КОЕ/г	3 КОЕ/г	Соответствует нормативам
14.	Бактерии группы кишечной палочки	Отрицательно по MNP	Отсутствуют	Соответствует нормативам

Таблица 3
Содержание веществ в конечном продукте

Наименование определяемых показателей	Значение показателей по результатам испытаний; %
Глицерин	5,7
Моноглицериды	39,6
Диглицериды	32,5
Триглицериды	7,5
Монопальмитин	2,7
Моноолеин	6,5
Моностеарин	27,4
Диолеин	–
Дистеарин	26,6
Трипальмитин	0,2
Триолеин	4,5

Рассматривая вопросы содержания моно-, ди- и триглицеридов, проведенный анализ образца эмульгатора дал следующие результаты (Таблица 3):

Выводы

Содержание моноэфиров в рамках текущей экспериментальной партии без дистилляции составило 60 %, что показывает необходимость дистилляции

наработанной экспериментальной партии для соответствия ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств»⁴.

Химический процесс переэтерификации сопоставим с ферментным методом, но из-за цены и низкой устойчивости ферментных препаратов является, на сегодняшний день, более приемлемым и подходящим для крупномасштабного производства.

К основным выводам, полученным по результатам проведенного исследования, можно отнести:

- степень реакции гидрогенизации возрастает по мере повышения концентрации катализатора;
- активность катализатора зависит от количества активных центров, пригодных для гидрогенизации;
- при повторном использовании никель-платинового катализатора можно добиться определенных экономических преимуществ;
- моноглицериды целесообразно использовать не только как конечные поверхностные вещества, но и как сырье для дальнейшего производства (Зыков, Крысанов, Мокшина, 2015, с. 169-174);
- образование ненасыщенных жиров сопутствует гидрогенизации и связано с селективностью процесса (О'Брайен, 2007);
- для предотвращения забивания фильтрующего слоя взвешенными частицами во время филь-

⁴ ТР ТС 029/2012. Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902359401> (дата обращения: 13.08.2020).

- трования, целесообразно использовать непрерывную подачу вспомогательных веществ;
- управление параметрами процесса, влияющими на протекание гидрогенизации, позволяет улучшить продукт с требуемыми функциональными свойствами;
- для повышения содержания моноэфиров в экспериментальной партии, целесообразно провести ее дистилляцию.

Благодарности

Рассматриваемый проект реализуется при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (Соглашение 075-11-2019-042 от «26» ноября 2019 г.).

Литература

- Берестова А.В., Зинюхин Г.Б., Межуева Л.В. Особенности технологии пищевых масложировых эмульсий функционального назначения // Вестник ОГУ. 2014. № 1(162). С. 150-155.
- Бутова С.В., Шахова М.Н., Панина Е.В. Исследование показателей растительных масел из мало-распространенного сырья // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. 2018. № 1(10). С. 38-43.
- Вдовичева В.В., Гущина Е.А., Тихомиров Г.А. К вопросу применения эмульгаторов в пищевой и легкой промышленности // Новая наука: теоретический и практический взгляд. 2016. № 1-2. С. 158-163.
- Зыков А.В., Крысанов В.А., Мокшина Н.Я. Газохроматографическое определение количественного состава пищевых эмульгаторов Е471 // Аналитика и контроль. 2015. Т. 19. № 2. С. 169-174. <https://doi.org/10.15826/analitika.2015.19.2.004>
- О'Брайен Р. Жиры и масла. Производство, состав и свойства, применение / пер. с англ. В.Д. Широкова, Д.А. Байбекина, Н.С. Селиванова, Н.В. Магды. 2-е изд. СПб.: Профессия, 2007. 752 с.
- Терещук Л.В., Савельев И.Д. Обоснование технологических параметров производства сливочно-растительных спредов с использованием дезодорированного рапсового масла // Техника и технология пищевых производств. 2010. № 4(19). С. 54а-59.
- Fregolente L.V., Batistella C.B., Filho R.M., Maciel M.R.W. Optimization of Distilled Monoglycerides Production // Twenty-Seventh Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals / J.D. McMillan, W.S. Adney, J.R. Mielenz, K.T. Klasson. ABAB Symposium: Humana Press, 2006, pp. 680-693. https://doi.org/10.1007/978-1-59745-268-7_55
- Nord V. Emulsifiers in Food Technology. 2nd ed. New Jersey: Wiley-Blackwell, 2015. 360 p.
- Rarokar N.R., Menghani S., Kerzare D., Khedekar P.B. Progress in Synthesis of Monoglycerides for Use in Food and Pharmaceuticals // Journal of Experimental Food Chemistry. 2017. Vol. 3, issue 3. P. 1-6. <https://doi.org/10.4172/2472-0542.1000128>

Research of technological processes for the production of food emulsifiers based on rapeseed oil

Denis Ksenafontov

LLC "Green lines"

6, Ilyinsky tupik, Krasnogorsk city,
Moscow region, itk 35, 143405, Russian Federation
E-mail: ksenafontov@ssnab.ru

Pavel Vyushinsky

LLC "Green lines"

6, Ilyinsky tupik, Krasnogorsk city,
Moscow region, itk 35, 143405, Russian Federation
E-mail: vyushinskij@ssnab.ru

Konstantin Zagorodnikov

Moscow State University of Food Production

11, Volokolamskoe highway, 11, Moscow, 125371, Russian Federation
E-mail: pss28@mail.ru

Alexey Yakushev

Moscow State University of Food Production

11, Volokolamskoe highway, 11, Moscow, 125371, Russian Federation
E-mail: pss28@mail.ru

An urgent issue of the modern food industry is the improvement of production processes and technologies for the development and synthesis of modern emulsifiers based on the raw material available for our country - rapeseed oil. With the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, the Moscow State University of Food Production, together with OOO Zelenye Linii, is implementing the project "Development of technology and creation of domestic production of food emulsifiers by deep processing of fat and oil raw materials." Within the framework of this project, a study was made of the effect of modification of the reaction medium and physical parameters on the properties of emulsifiers. The essence of the study is that the composition of the reaction medium affects the composition and physical properties of the resulting products. The reaction medium affects the catalyst, changing its state - composition, structure, properties. The efficiency of the process is primarily determined by this state, which in the non-stationary mode often provides greater activity and, which is especially important, the selectivity of the catalyst in comparison with the stationary state, when the composition and temperature of the gas phase do not change over time. As a result of the study, it was found that when the temperature regimes of molecular distillation change, the crystallization rate of the final product changes. The same processes occur when the pressure in the evaporator changes. The content of monoesters within the studied experimental batch of emulsifiers without distillation was 60%, which showed the need for distillation of the accumulated experimental batch. The results obtained showed the further direction of the development of technology and the creation of domestic production of food emulsifiers by deep processing of fat and oil raw materials.

Key words: Emulsifier, development, technical solution, production, technological processes, food industry

References

- Berestova A.V., Zinyukhin G.B., Mezhueva L.V. Oso-
bennosti tekhnologii pishchevykh maslozhirovykh
emul'sii funktsional'nogo naznacheniya [Features
of the technology of edible fat and oil emulsions
for functional purposes]. *Vestnik OGU [Bulletin
of Orenburg State University]*, 2014, no. 1(162),
pp. 150-155.
- Butova S.V., Shakhova M.N., Panina E.V. Issledovanie
pokazatelei rastitel'nykh masel iz maloraspros-

- tranennogo syr'ya [Investigations of indicators of vegetable oils from low-spread raw materials]. *Tekhnologii i tovarovedenie sel'skokhozyaistvennoi produktsii* [Technology and commodity science of agricultural products], 2018, no. 1(10), pp. 38-43.
- O'Braien R. Zhiry i masla. Proizvodstvo, sostav i svoystva, primeneniye [Fats and oils. Production, composition and properties, application]. 2nd ed. S-Petersburg: Professiya, 2007. 752 p.
- Tereshchuk L.V., Savel'ev I.D. Obosnovaniye tekhnologicheskikh parametrov proizvodstva slivochno-rastitel'nykh spredov s ispol'zovaniem dezodorirovannogo rapsovogo masla [Substantiation of technological parameters for the production of butter-vegetable spreads using deodorized rapeseed oil]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv* [Technique and technology of food production], 2010, no. 4(19), pp. 54a-59.
- Vdovicheva V.V., Gushchina E.A., Tikhomirov G.A. K Voprosu primeneniya emul'gatorov v pishchevoi i legkoi promyshlennosti [On the issue of the use of emulsifiers in the food and light industry]. *Novaya nauka: teoreticheskii i prakticheskii vzglyad* [New science: theoretical and practical view], 2016, no. 1-2, pp. 158-163.
- Zykov A.V., Krysanov V.A., Mokshina N.Ya. Gazokhromatograficheskoye opredeleniye kolichestvennogo sostava pishchevykh emul'gatorov E471 [Gas chromatographic determination of the quantitative composition of food emulsifiers E471]. *Analitika i kontrol'* [Analytics and control], 2015, vol. 19, no. 2, pp. 169-174. <https://doi.org/10.15826/analitika.2015.19.2.004>
- Fregolente L.V., Batistella C.B., Filho R.M., Maciel M.R.W. (2006) Optimization of Distilled Monoglycerides Production. *Twenty-Seventh Symposium on Biotechnology for Fuels and Chemicals*. ABAB Symposium: Humana Press, 2006, pp. 680-693. https://doi.org/10.1007/978-1-59745-268-7_55
- Nord V. Emulsifiers in Food Technology. 2nd ed. New Jersey: Wiley-Blackwell, 2015. 360 p.
- Rarokar N.R., Menghani S., Kerzare D., Khedekar P.B. Progress in Synthesis of Monoglycerides for Use in Food and Pharmaceuticals. *Journal of Experimental Food Chemistry*, 2017, vol. 3, no. 3, pp. 1-6. <https://doi.org/10.4172/2472-0542.1000128>