

Включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь  
для опубликования результатов диссертационных исследований

Приказ Высшей аттестационной комиссии Республики Беларусь  
от 2 февраля 2011 г. № 26



ISSN 2073-4794

Том 15  
№1(55)  
2022

РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

# ПИЩЕВАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ: НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ

Основан в 2008 году

Выходит 4 раза в год

**Адрес редакции:**

ул. Козлова, 29, г. Минск,  
220037, Республика Беларусь  
Тел./факс: (375-17) 252-55-70,  
395-39-71, 361-11-41 (редактор)  
e-mail: aspirant@belproduct.com

Редакция не несет ответственности  
за возможные неточности по вине авторов.

Мнение редакции может не совпадать  
с позицией автора

Отпечатано в типографии

УП «ИВЦ Минфина»

Подписано в печать 17.06.2022.

Формат 60×84/8. Бумага офсетная.

Гарнитура NewtonС. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 11,16. Уч.-изд. л. 12,80.

Тираж 100 экз. Заказ 185.

ЛП № 02330/89 от 3 марта 2014 г.

Ул. Кальварийская, 17, 220004, г. Минск.

**Учредитель**

Республиканское унитарное предприятие  
«Научно-практический центр Национальной  
академии наук Беларуси по продовольствию»

Зарегистрирован в Министерстве информации  
Республики Беларусь (свидетельство  
о регистрации № 590 от 30 июля 2009 г.)

Журнал включен в базу данных  
Российского индекса научного  
цитирования (РИНЦ)

**Подписные индексы:**

для индивидуальных подписчиков 01241  
для ведомственный подписчиков 012412



# FOOD INDUSTRY: SCIENCE AND TECHNOLOGIES

Vol. 15, №2(56) 2022

## Founder:

**Republican Unitary Enterprise “Scientific and Practical Centre  
for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus”**

## Editor-in-Chief:

**Lovkis Zenon Valentinovich** – Chief Researcher of the Administration of the Republican Unitary Enterprise "Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food", Honored Scientist of the Republic of Belarus, Academician Member of the National Academy of Sciences of Belarus, Doctor of Technical Sciences, Professor

## Editorial Board:

**Shepshelev Aleksandr Anatolievich** – Deputy Editor-in-Chief - Deputy General Director for Scientific Work of the Republican Unitary Enterprise "Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food", PhD of Technical Sciences

**Akulich Aleksandr Vasilievich** – Vice-Rector for Scientific Work of the educational institution "Belarusian State University of Food and Chemical Technologies", Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Inventor of the Republic of Belarus (with his consent)

**Gusakov Gordey Vladimirovich** — Director of the Republican Unitary Enterprise "Institute of the Meat and Dairy Industry", PhD of Economical Sciences (with his consent)

**Zhakova Kristina Ivanovna** – Scientific Secretary of the Republican Unitary Enterprise "Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food", PhD of Technical Sciences

**Laptenok Natalia Sergeevna** – director of the research and production republican subsidiary unitary enterprise "Beltekhnohleb" (with her consent)

**Lisitsyn Andrei Borisovich** – Scientific Director of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Food Systems named after V.I. V.M. Gorbato", Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor (with his consent)

**Meleshchenya Aleksey Victorovich** – General Director of the Republican Unitary Enterprise "Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food", PhD of Economical Sciences, Associate Professor

**Margunova Alena Mikhailauna** – Deputy General Director for Standardization and Quality of Food Products of the Republican Unitary Enterprise "Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food", PhD of Technical Sciences, Associate Professor

**Petyushev Nikolay Nikolaevich** – Head of the Department of Technologies for Production of Root and Tuber Crops and New Technique of the Republican Unitary Enterprise "Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food", PhD of Technical Sciences

**Roslyakov Yuriy Fedorovich** – Head of the Department of Technology of Bakery, Pasta and Confectionery Production of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kuban State Technological University", Doctor of Technical Sciences, Professor (with his consent)

**Savenkova Tatsiana Valentinovna** – Director of the Research Institute of Quality, Safety and Technologies of Specialized Food Products of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Russian University of Economics. G.V. Plekhanov”, Doctor of Technical Sciences, Professor (with her consent)

**Sharshunov Vyacheslav Alekseevich** – Professor of the Department of Machines and Apparatus for Food Production of the Educational Institution "Belarusian State University of Food and Chemical Technologies", Honored Scientist of the Republic of Belarus, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, Doctor of Technical Sciences, Professor (with his consent)

**Mironova Natalya Pavlovna** – executive editor, head of the postgraduate course of the department of scientific and technical information of the republican unitary enterprise "Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food"

The Journal is included in the List  
of Journals for Publication of the Results of Dissertation Research

Supreme Certifying Commission of the Republic of Belarus  
decree of 2 February 2011



ISSN 2073-4794

**Vol. 15**

**№2(56)**

**2022**

**PEER-REVIEWED SCIENTIFIC  
AND TECHNICAL JOURNAL**

# **FOOD INDUSTRY: SCIENCE AND TECHNOLOGIES**

**The Journal was founded in 2008**

**Issued four times a year**

**Address of the Editorial Office:**

29, Kozlova str., Minsk  
220037, Republic of Belarus  
**Tel./Fax:** +375-17-252-55-70,  
+375-17-395-39-71, +375-17-361-11-41  
(editor)

**E-mail** [aspirant@belproduct.com](mailto:aspirant@belproduct.com)

Printed at UE "IVC Minfina"

It is sent of the press 17.06.2022

Format 60x84/8. Offset paper.

NewtonC type. Offset printing.

Printed pages 11,16.

Publisher's signatures 12,80.

Circulation 100 copies. Order 185.

LP № 02330/89 of 3 March 2014

17, Kalvaryiskaya str., Minsk 220004

**Founder**

Republican Unitary Enterprise "Scientific-  
Practical Centre for Foodstuffs of the National  
Academy of Sciences of Belarus"

Registered in Ministry of Information of the  
Republic of Belarus

(Registration Certificate № 530 of July 2009)

The journal is included into  
the database of Russian Science  
Citation Index (RSCI)

**Subscription indexes**

For individuals 01241

For legal entities 012412

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Ловкис З. В.</b> Социально-кадровая политика перерабатывающего предприятия в период развития.....	6
<b>Самуйленко Т. Д.</b> Влияние процесса осахаривания на биотехнологические свойства термофильной заквашенной заварки .....	11
<b>Лаптенко Н. С., Ивашкевич Т. В.</b> Влияние автолитической активности муки на объем ржаных хлебобулочных изделий .....	21
<b>Маслинская М. Е., Почицкая И. М., Комарова Н. В.</b> Изучение физических показателей и биохимического состава семян белорусских сортов льна масличного.....	26
<b>Моргунова Е. М., Соловьев В. В.</b> Клеточные стенки дрожжей – эффективный адсорбент микотоксинов в кормах .....	36
<b>Груданов В. Я., Бренч А. А., Торган А. Б., Дацук И. Е., Зеленко С. А., Василевская В. В.</b> Теоретические основы повышения качества и эффективности процесса тонкого измельчения мясного сырья на эмульсификаторах .....	45
<b>Шепшелев А. А., Соловьев В. В., Кулаковская В. И.</b> Ферментативный гидролиз белково-хмелевого отстоя.....	56
<b>Яковлева М. Р., Дымар О. В., Никулина О. К., Колоскова О. В.</b> Влияние концентрационной поляризации на эффективность электромембранной деминерализации сахарного сиропа.....	62
<b>Петюшев Н. Н., Гоман Д. И., Евтушевская Л. В., Станкевич О. Н.</b> Совершенствование бурового реагента на основе крахмала .....	68
<b>Моргунова Е. М., Шимановская Ю. А.</b> Сенсорный анализ и контроль качества низкобелковых продуктов специализированного назначения.....	74
<b>Дорофеев А. Г., Чаевский С. И.</b> Изменение перекисного числа и продуктов термического окисления во фритюрных жирах при производстве снековой продукции.....	80
<b>Журня А. А., Мельникова Л. А.</b> Разработка и оценка потребительских свойств обогащенных хлебобулочных изделий для питания школьников .....	85

**CONTENTS**

<b>Lovkis Z. V.</b> Social and personnel policy of a food processing enterprise during the development period.....	6
<b>Samulyenko T. D.</b> The influence of the saccharification process on biotechnological properties of thermophilic sourdough.....	11
<b>Laptenok N. S., Ivashkevich T. V.</b> Influence of autolytic activity of flour on the volume of rye bakery products.....	21
<b>Maslinskaya M. E., Pochitskaya I. M., Komarova N. V.</b> Study of physical indicators and biochemical composition of seeds of belarusian linseed varietie .....	26
<b>Morgunova E. M., Soloviev V. V.</b> Yeast cell walls are an effective adsorbent of mycotoxins in feed.....	36
<b>Grudanov V. Ya., Brench A. A., Torgan A. B., Datsuk I. E., Zelenko S. A., Vasilevskaya V. V.</b> Theoretical foundations of improving the quality and efficiency of the process of fine grinding of meat raw materials on emulsifiers.....	45
<b>Shepshelev A. A., Soloviev V. V., Kulakovskaya V. I.</b> Enzymatic hydrolysis of protein-hop sludge .....	56
<b>Yakovleva M. R., Dymar O. V., Nikulina O. K., Koloskova O. V.</b> Impact of concentration polarization on the efficiency of electromembrane demineralization of sugar syrup .....	62
<b>Petyushev N. N., Goman D. I., Evtushevskaya L. V., Stankevich O. N.</b> Improvement of drilling reagents based on starch.....	68
<b>Morgunova E. M., Shymanouskaya Y. A.</b> Sensory analysis and quality control of low-protein products for specialized purposes .....	74
<b>Dorofeyev A. G., Chaevskij S. I.</b> Changes in the peroxide number and thermal oxidation products in deep-frying fats in the production of snack products.....	80
<b>Zhurnia H. A., Melnikova L. A.</b> Development and evaluation of consumer properties of enriched bakery products for the nutrition of schoolchildren.....	85

УДК 331.108+658.3  
[https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-2\(56\)-6-10](https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-2(56)-6-10)

Поступила в редакцию 11.04.2022  
Received 11.04.2022

**З. В. Ловкис**

*РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»,  
г. Минск, Республика Беларусь*

## **СОЦИАЛЬНО-КАДРОВАЯ ПОЛИТИКА ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ В ПЕРИОД РАЗВИТИЯ**

**Аннотация.** В период развития предприятия, постановки на производство новой продукции очень важно для достижения максимальных экономических результатов не упустить социальные вопросы и процесс управления кадрами предприятия. В статье разработана и представлена в концентрированном виде блок-схема создания и развития социально-кадровой политики предприятия. С учетом внешних и внутренних факторов, экономической ситуации и действующего законодательства, финансового положения и наличия трудовых ресурсов представлена социально-кадровая политика, которая основана на экономике и доходах предприятия, мероприятиях, обеспечивающих жизнедеятельность и социальную защиту, способна сформировать кадровый потенциал, который позволит реализовать задуманные планы модернизации и инновационного развития предприятия.

**Ключевые слова:** социальная политика, кадровая политика, мероприятия, факторы, условия, стратегия, стимулирование.

**Z. V. Lovkis**

*RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus”,  
Minsk, Republic of Belarus*

## **SOCIAL AND PERSONNEL POLICY OF A FOOD PROCESSING ENTERPRISE DURING THE DEVELOPMENT PERIOD**

**Abstract.** During the period of development of the enterprise, setting up production of new products, it is very important to achieve maximum economic results not to miss the social issues and the process of personnel management of the enterprise. The article develops and presents in a concentrated form a block diagram of the creation and development of the social and personnel policy of the enterprise. Taking into account external and internal factors, the economic situation and the current legislation, the financial situation and the availability of labor resources, a socio-personnel policy is presented, which is based on the economy and income of the enterprise, measures that ensure vital activity and social protection, is able to form a personnel potential that will allow implementing the conceived plans for modernization and innovative development of the enterprise.

**Keywords:** social policy, personnel policy, measures, factors, conditions, strategy, stimulation.

Социально-кадровая политика предприятия — это деятельность, направленная на регулирование социальных процессов и стратегий управления кадрами предприятия для получения максимальных экономических результатов.

Целями данной политики как системы управления персоналом являются достижение, сохранение, укрепление и развитие кадрового потенциала организации, создание высокопроизводительного коллектива, наиболее высоких конечных результатов деятельности предприятия

Основными функциями социально-кадровой политики являются повышение эффективности хозяйственной деятельности организаций, уменьшение текучести кадров, в том числе закрепление наиболее квалифицированных специалистов. Также успешная социально-кадровая политика создает благоприятный имидж организации в глазах общественности, а в ряде случаев и сокращение объема выплачиваемой суммы налогов.

Социальная политика предприятия как элемент политики управления персоналом представляет собой комплекс мероприятий, связанных с предоставлением работникам дополнительных льгот, услуг и других выплат социального характера (рис.1).



Рис. 1. Формирование социально-кадровой политики предприятия  
Fig 1. Formation of the social and personnel policy of the enterprise

Процесс разработки и реализации комплекса мероприятий социально-кадровой политики организации может осуществляться по многим направлениям, важнейшими из которых являются следующие:

- ♦ формирование доходов;
- ♦ отношения и сотрудничество с профсоюзами;
- ♦ социальное обеспечение.

Политика доходов определяется соглашением о доходах (разница прибылей и убытков), которое устанавливается на государственном уровне и детализируется по отраслям и организациям в виде коллективных (профсоюзных) договоров работников и работодателей. Через выполнение политики доходов коллектив получает гарантии роста заработной платы при повышении эффективности производства, а также защиту от инфляционных процессов.

Социальная защита через профсоюзы представляет собой комплекс мероприятий по обеспечению нормальной жизнедеятельности человека и является практической деятельностью по реализации стратегии социально-кадровой политики. Предприятия в рамках социальной защиты персонала реализуют льготы и гарантии, установленные на уровне государства, создают благоприятные условия труда и отдыха сотрудников предприятия и членов их семей.

Социальная помощь и социальная поддержка представляют собой мероприятия, программы денежных выплат, натуральных выплат и/или услуг нуждающимся в силу сложившихся обстоятельств.

В этой связи предприятия представляют своим работникам дополнительные льготы, относящиеся к элементам материального стимулирования, за счет выделения на эти цели средств из фондов социального развития предприятия.

Сложные процессы, происходящие в окружающей среде, оказывают на предприятие свое влияние посредством действия совокупности экономических и социокультурных факторов.

По способу воздействия на социальную среду предприятие испытывает следующие факторы: партнерских связей и их интересов, участие граждан и групп, заинтересованных в ее деятельности или бездеятельности (акционеров, руководителей банков, представителей местных органов и др.);

В зависимости от места происхождения и принадлежности к объекту или субъекту рассматривают внешние и внутренние факторы, объективные и субъективные.

При развитии предприятия следует учитывать объективно сложившуюся в обществе политическую и экономическую ситуацию и тенденции ее развития, качество законодательного обеспечения производственной деятельности, существующую и прогнозируемую конкуренцию на рынке труда, уровень развития социальной инфраструктуры в регионе расположения организации, а также территориальное положение и климатические условия. Внутренние факторы социальной среды связаны с деятельностью самой организации: конкурентоустойчивость и масштаб развития, прибыльность предприятия, имиджевая политика, традиции и социальные ценности;

Необходимо учитывать такие локальные факторы как групповая динамика, коллективные нормы общения и деятельности, стиль руководства и лидерства, психологическая совместимость членов коллектива и совместимость их ролевых функций.

Кадровый потенциал: квалификация и компетентность кадров, специализация, возраст, стабильность, текучесть, владение техническими и методическими средствами — эти и другие показатели являются прямыми аргументами возможности внедрения новых технологий и продуктов.

Высокопрофессиональный, работоспособный и мотивированный персонал становится основным преимуществом, именно качество кадрового состава, его грамотная расстановка, и надлежащая мотивация позволяют обеспечивать постоянный рост производительности труда, повышение качества продукции и увеличение объемов ее выпуска.

Для разработки кадровой политики предприятия необходимо учитывать ситуацию на рынке труда, состояние жизненного цикла и бизнеса предприятия, состояние сырьевой базы и окружающей среды, вид стратегии развития и окружающей среды и персоналзависимости.

Грамотная кадровая политика подразумевает последовательную и планомерную реализацию мероприятий в несколько этапов: сбор и анализ информации, определение стратегических целей и приоритетов, разработку на их основе принципов кадровой политики предприятия; оценку кадрового состава, планирование потребности в персонале нужной квалификации, формирование оптимальной структуры и штата, внутреннюю вертикальную и горизонтальную ротацию, формирование кадрового резерва; разработку и постоянную актуализацию системы движения кадровой информации; разработку эффективной системы оплаты и стимулирования трудовой деятельности персонала; разработку программ обучения и развития персонала, адаптационные мероприятия, разработку индивидуальных планов развития нужных компетенций, профессиональную подготовку, формирование эффективных команд, оценку эффективности мероприятий, проводимых в рамках кадровой политики компании, выявление проблем и поиск путей повышения эффективности, оценку кадрового потенциала.

Кадровая политика предприятия должна быть увязана с общим направлением его развития.

Она должна быть стабильной, отвечающей ожиданиям работников, которые хотят быть уверенными в своем завтрашнем дне, но, с другой стороны, она должна быть достаточно гибкой, позволяющей в кратчайшие сроки адаптироваться к изменениям внешних факторов, в том числе, ситуации на рынке труда. Кадровая политика предприятия должна быть экономически обоснованной, позволяющей с высокой степенью эффективности тратить каждый рубль, вложенный в программы управления персоналом, реализующейся с учетом реальных финансовых возможностей организации. Кадровая политика должна строиться как на общих принципах управления персоналом компании в целом, так и избирательных принципах, действующих, когда это необходимо, в отношении отдельных структурных подразделений, групп или категорий работников, обеспечивая тем самым индивидуальный подход как к отдельным трудовым сообществам, так и отдельным членам трудового коллектива. Выбор средств, методов, приоритетов, направлений кадровой политики предприятия должен осуществляться с учетом основных принципов, на которых она построена и не противоречить принципам справедливости и гуманности.

В рамках политики социального обеспечения предприятие принимает на себя социальную ответственность за персонал. С этой целью может осуществляться политика справедливого вознаграждения по результатам труда, предоставляться определенные возможности социальной защиты и набор социальных льгот, которые являются дополнением к вознаграждению персонала и осуществляются



в рамках внутрифирменного социального страхования, различных программ помощи и льготного обслуживания своих сотрудников. При этом социальная политика организации подразумевает наличие социального обеспечения, которое, в свою очередь, связано с понятиями «социальная защита», «социальная помощь», «социальная поддержка».

Предоставление дополнительных льгот и услуг социального характера проводится сверх обязательных выплат по инициативе руководства организации либо в результате тарифных соглашений между администрацией и советом трудового коллектива. В результате эти выплаты становятся такими же обязательными для выполнения, как и те, которые установлены в соответствии с трудовым законодательством.

Несмотря на увеличение расходов на рабочую силу, предприятие выигрывает в повышении мотивации труда, эффективности и производительности. Таким образом, социально ориентированная кадровая политика организации выгодна всем участникам и сторонам коллективного процесса труда.

Кадровая политика организации должна формироваться с учетом как внешних, так и внутренних факторов.

К внешним факторам можно отнести: ситуацию на рынке труда-наличие предприятий-конкурентов, источники формирования, качественный и структурный состав трудовых резервов; действующее трудовое законодательство, особенности правового регулирования трудовых взаимоотношений; причастность персонала к деятельности профессиональных и общественных объединений, поскольку традиции и приоритеты деятельности таких объединений, ее стратегию необходимо учитывать при разработке кадровой политики.

К внутренним факторам относятся: этап развития предприятия, определяющий стоящие перед ним краткосрочные и долгосрочные цели; структура и специфика производственной деятельности, определяющая стиль управления предприятия (командный или демократический, централизованную или децентрализованную); качество сложившихся на настоящий момент кадров; условия труда, определяющие степень умственных и физических усилий, требующихся от сотрудников для успешного выполнения трудовых функций; наличие вредных и опасных факторов; необходимость взаимодействия с коллегами при решении задач; степень успешности предприятия и трудового коллектива, финансовые возможности предприятия; наличие сформировавшейся эффективной организационной корпоративной культуры, сложившиеся корпоративные традиции и обычаи; стиль руководства, позволяющий менеджменту предприятия в максимальной степени раскрывать потенциальные возможности персонала.

Внутренние факторы, определяющие кадровую политику, можно будет скорректировать и учесть, определяя общую стратегию работы с персоналом. Так, например, когда перед предприятием стоит вопрос выживаемости в условиях обострения конкурентной борьбы. Должна быть проведена оценка эффективности работы персонала, определены направления обучения и развития, повышения квалификации.

Кроме этого, от кадровой службы потребуется разработка мер по повышению мотивированности и вовлеченности персонала. Когда речь идет о необходимости сокращения штатов, вызванной кризисными явлениями в экономике страны, в этих условиях новая кадровая политика проявится как: отказ от приема новых сотрудников, сокращение сотрудников, чей труд малоэффективен, ротация и расстановка персонала, позволяющая повысить производительность путем оптимизации использования имеющегося кадрового потенциала. Такие меры позволят минимизировать отрицательное воздействие внешних факторов, сохранить и даже повысить необходимый для стабильной работы компании уровень качества кадров. Если конъюнктура, сложившаяся на региональном рынке труда, характеризуется дефицитом кадров нужных специальностей, грамотно построенная кадровая политика поможет повысить привлекательность работодателя и переманить необходимых предприятию специалистов от конкурентов. Этого можно добиться, повысив уровень оплаты труда, расширив соцпакет или же привлекая работников из других регионов, оплатив их проезд и обеспечив жильем.

Современный специалист должен создавать и обеспечить внедрение проектов здорового питания: на первом уровне - модельно-программный комплекс для сценарного прогнозирования усиления продовольственной конкурентоспособности и обеспечения национальной продовольственной конкурентоустойчивости; на втором уровне — стратегического обоснования инновационного развития. Современный специалист должен хорошо понимать, что такое проект, осознавать его значимость, знать фазы проекта и его этапы, знать современные методы и системы управления проектами и уметь применять их на практике. Внедрение новых технологий в научную деятельность не заменяет и не отменяет традиционные формы, а позволяет их расширить, сделать более интересными и содержательными.

Только достаточно высокий научно - производственный и кадровый потенциал, который, при соответствующих усилиях правительства и бизнес - сообщества, позволяет реализовать возможность

привлечения инвестиций в высокотехнологичные отрасли провести ускоренную технологическую модернизацию и обеспечить инновационность развития.

### Список использованных источников

1. *Гусаков, В. Г.* Конкуренентоустойчивое развитие производства продуктов здорового питания в предприятиях пищевой промышленности Беларуси / В. Г. Гусаков, А. В. Пилипук ; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т систем. исслед. в АПК НАН Беларуси. — Минск: Беларуская навука, 2018. — 367 с.
2. *Ловкис, З. В.* Инновационная система национальной продовольственной конкурентоустойчивости: теория, методология и практика / З. В. Ловкис, Ф. И. Субоч, Е. З. Ловкис; Национальная академия наук Беларуси, Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию. — Минск: ИВЦ Минфина, 2021. — 384 с.
3. *Захарова, С. В.* Некоторые аспекты механизма управления конкурентоустойчивостью предприятия // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. — 2006. — №13 (2). — С. 27–30.
4. Стратегия повышения качества и безопасности пищевой продукции Республики Беларусь до 2030 года / З.В. Ловкис, Е.М. Моргунова, Е.З. Ловкис // Пищевая промышленность: наука и технологии. — 2017. — №1(35). — С. 8–17.
5. Управление конкурентоспособностью предприятия: учебное пособие / С.М. Клименко [и др.]. — К.: КНЭУ, 2006. — 527 с.
6. *Ловкис, З. В.* Инновационное развитие пищевой промышленности: аспекты теории и практики / З. В. Ловкис, Ф. И. Субоч, Е.З. Ловкис. — Минск: ИВЦ Минфина, 2019. — 530 с.
7. *Кузнецова, Е. В.* Системный подход к управлению информационными ресурсами и потоками на предприятии / Е. В. Кузнецова // Вестник Брянского государственного технического университета. — 2016. — №5 (53). — С. 209–214.
8. *Лихошерстов, Е. С.* Социальная политика предприятия и факторы, на нее влияющие / Е. С. Лихошерстов // Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права. — 2011. — №1(37). — С. 313–316.
9. *Зеленцов, А. Б.* Факторы эффективности кадровой политики организации / А.Б. Зеленцов // Вестник университета. — 2014. — №6. — С. 177–179.
10. Управление социальным развитием организации: теория и практика: учебное пособие / Н.Н. Богдан, М.Г. Масилова. — Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2015. — 284 с.
11. *Одегов, Ю.* Внутренний рынок труда в системе социально-трудовых отношений / Ю. Одегов // Вопросы экономики. — 2004. — №3. — С. 105–114.
12. *Караганова, М. В.* Система социальной защиты в Европе: модели, измерение перспективы / М.В. Караганова // Труд за рубежом. — 2008. — №2. — С. 103–122.

### Информация об авторах

*Ловкис Зенон Валентинович* — заслуженный деятель науки Республики Беларусь, академик Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник администрации управления РУП «Научно-практический центр национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: info@belproduct.com

### Information about authors

*Lovkis Zenon Valentinovich* — Honored Science Worker of the Republic of Belarus, Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, Doctor of Engineering sciences, Professor, Chief Researcher of the Administration of RUE «Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus» (29 Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: info@belproduct.com

УДК 664.642.2  
[https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-2\(56\)-11-20](https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-2(56)-11-20)

Поступила в редакцию 25.02.2022  
Received 25.02.2022

**Т. Д. Самуйленко**

*Учреждение образования «Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий», г. Могилев, Республика Беларусь*

## **ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ОСАХАРИВАНИЯ НА БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕРМОФИЛЬНОЙ ЗАКВАШЕННОЙ ЗАВАРКИ**

**Аннотация.** На белорусских хлебопекарных предприятиях для производства заварных сортов хлеба преимущественно используется сброженная заварка на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки. Ее традиционная технология полноценно реализуется только при круглосуточном режиме производства заварных сортов хлеба с постоянной производительностью по рассматриваемому ассортименту. В статье отмечено, что научно обоснованные сведения о технологических приемах воздействия на сброженную заварку в дискретном режиме отсутствуют. В исследованиях установлено влияние технологических параметров процесса осахаривания на биотехнологические свойства термофильной заквашенной заварки. Представлены воздействующие факторы и критерии оценки, построен план эксперимента. Выявлены изменения общего количества термофильных молочнокислых бактерий, их активности и кислотности термофильной заквашенной заварки при стабильной температуре и продолжительности заквашивания, стабильном количественном составе и варьируемом качественном составе используемой осахаренной заварки. Получены уравнения регрессии, адекватно описывающие зависимости исследуемых критериев оценки от выбранных факторов и позволяющие прогнозировать биотехнологические свойства термофильной заквашенной заварки в дискретном режиме производства заварных сортов хлеба. Установлены приемлемые диапазоны варьирования количественного состава осахаренной заварки и технологические параметры ее приготовления при нестабильном дискретном процессе осахаривания и при стабильном непрерывном процессе заквашивания.

**Ключевые слова:** дискретный режим, осахаренная заварка, термофильная заквашенная заварка, сброженная заварка, биотехнологические свойства, технологические параметры, молочнокислые бактерии, активность, кислотность.

**T. D. Samuilenko**

*Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Mogilev, Republic of Belarus*

## **THE INFLUENCE OF THE SACCHARIFICATION PROCESS ON BIOTECHNOLOGICAL PROPERTIES OF THERMOPHILIC SOURDOUGH**

**Abstract.** Fermented sourdough based on saccharified and thermophilic sourdough is used for the production of national types of bread at Belarusian bakeries. Its traditional technology is fully implemented only with the round-the-clock production of national types of bread with constant productivity for this assortment. The article notes that there isn't scientifically substantiated information about the technological methods of action on fermented sourdough in a discrete mode. The influence of technological parameters of the saccharification process on the biotechnological properties of thermophilic sourdough has been established. The influencing factors and evaluation criteria are presented, the experiment plan is constructed. Changes in the total number of thermophilic lactic acid bacteriums, their activity and acidity of thermophilic sourdough at a stable temperature, duration, quantitative composition and unstable qualitative composition of the saccharified sourdough used were revealed. Regression equations that adequately describe the dependencies of the studied evaluation criteria on the selected factors and allow predicting the biotechnological properties of thermophilic sourdough in a discrete mode for the production of national types of bread have been obtained. Acceptable ranges of the quantitative composition of saccharified sourdough and technological parameters of its preparation with an unstable discrete process of saccharification and with a stable continuous process for obtaining thermophilic sourdough have been established.

**Keywords:** discrete mode, saccharified sourdough, thermophilic sourdough, fermented sourdough, biotechnological properties, technological parameters, lactic acid bacteriums, activity, acidity.

**Введение.** На отечественных хлебопекарных предприятиях для производства заварных сортов хлеба в качестве основного промежуточного кислотосодержащего и разрыхляющего полуфабриката используется сброженная заварка, полученная на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки. Это многостадийный полуфабрикат приготавливают путем направленного культивирования специфических микроорганизмов (термофильных молочнокислых бактерий *Lactobacillus delbruckii* (штамм 76) на стадии заквашивания, мезофильных молочнокислых бактерий *Lactobacillus plantarum* (штамм И–35) и дрожжевых клеток расы «Ивановская» на стадии сбраживания) при определенных технологических параметрах и составах мучных питательных субстратов только в непрерывном режиме.

Приготовление сброженной заварки в производственном цикле включает следующие последовательно реализуемые стадии: заваривание рецептурной смеси, осахаривание полученной заварки, заквашивание заварки, ее последующее охлаждение, сбраживание заварки. Стоит отметить, что стадии заваривания, осахаривания и охлаждения осуществляются в дискретном режиме, а стадии заквашивания и сбраживания — в непрерывном режиме. Сохранение культивируемых микроорганизмов в жизнеспособном состоянии в таких переменных условиях осуществляется путем отбора части полуфабриката на следующую стадию и добавления полуфабриката с предыдущей стадии к оставшейся части полуфабриката текущей стадии. Эффективность процессов, протекающих на каждой стадии приготовления сброженной заварки, в значительной степени зависит от количественного и качественного состава используемых мучных питательных субстратов, состава культивируемых микроорганизмов и их активности.

Традиционная технология сброженной заварки разработана и возможна для реализации только при круглосуточном режиме производства заварных сортов хлеба с относительно постоянной производительностью по рассматриваемому ассортименту. Именно это обеспечивает стабильность биотехнологических свойств сброженной заварки, а соответственно и потребительских свойств заварных сортов хлеба.

В дискретном режиме технология сброженной заварки требует других подходов при реализации, которые должны основываться на моделировании метаболизма культивируемых микроорганизмов (дрожжевых клеток и/или молочнокислых бактерий). К основным способам, реализуемым в этом направлении, можно отнести изменение технологических параметров приготовления и использование дополнительных сырьевых материалов. Это позволяет варьировать количественный и качественный состав доступных питательных веществ для культивируемых микроорганизмов, что обеспечивает регулирование производственного цикла и/или придает определенные биотехнологические свойства полуфабрикатам [1–4].

Стоит отметить, что в литературных источниках отсутствуют научно обоснованные конкретные сведения о дополнительных технологических приемах воздействия на сброженную заварку в дискретном режиме для стабилизации ее биотехнологических свойств и соответственно потребительских свойств рассматриваемого ассортимента хлебобулочных изделий. Представленные эпизодические сведения об отличительных особенностях приготовления сброженной заварки на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки в основном затрагивают узкий перечень наименований заварных сортов хлеба и никак не ориентированы на специфику дискретного режима их производства [1, 5, 6, 7].

Следует отметить, что использование физических способов интенсификации технологического процесса (воздействие различных видов излучений, энергии звуковых колебаний и др.) при приготовлении жидких ржаных кислотосодержащих полуфабрикатов в дискретном режиме производства хлеба из ржаной муки и смеси ржаной и пшеничной муки для стабилизации биотехнологических свойств полуфабрикатов требует использования дополнительного специализированного оборудования, в некоторых случаях сложного в конструктивном исполнении, больших энерго- и трудозатрат, высокой квалификации персонала, что не улучшит экономическую эффективность работы предприятий хлебопекарной отрасли и повлечет увеличение себестоимости готового продукта [8].

Использование побочных продуктов различных отраслей пищевой промышленности при приготовлении жидких ржаных кислотосодержащих полуфабрикатов обеспечивает интенсификацию технологического процесса. Однако большинство этих сырьевых компонентов требует регулярного их производства и, соответственно, поставок на хлебопекарные предприятия, дополнительной подготовки (например, пюре из якона, паста из сахарной свеклы, сахаросодержащая паста из картофеля, послеспиртовая барда из топинамбура, водная вытяжка из боя и хвостиков сахарной свеклы). Промышленное производство этих сырьевых компонентов в Республике Беларусь отсутствует, в случае их использования требуются дополнительные валютные затраты, что в конечном итоге влияет на себестоимость ассортимента хлеба из ржаной муки и смеси ржаной и пшеничной муки. Несмотря на многочисленные преимущества использования предложенных продуктов переработки плодов, овощей и побочной продукции пищевой промышленности, стоит отметить то, что длительное куль-

тивирование (более нескольких месяцев) микроорганизмов на предложенных мучных питательных субстратах в производственном цикле приводит к нарушению соотношения между дрожжевыми клетками и молочнокислыми бактериями в сторону роста дрожжевых клеток. Это является нерациональным, приводит к несоответствию полуфабриката рекомендациям технологических инструкций и невозможности использования на стадии замеса теста. Такая ситуация обусловлена содержанием значительного количества легкоусвояемых углеводов в составе продуктов переработки плодов и овощей и значительно сказывается на образовании в жидких ржаных кислотосодержащих полуфабрикатах веществ, влияющих на вкус и аромат хлеба из ржаной муки и смеси ржаной и пшеничной муки. Кроме того, высокая активность дрожжевых клеток в этих условиях и увеличение их общего количества приводит к значительному пенообразованию в полуфабрикатах, что затрудняет их транспортирование и последующее дозирование. Также требуется разработка рекомендаций при приготовлении таких жидких ржаных кислотосодержащих полуфабрикатов на модифицированных мучных питательных субстратах в условиях дискретного режима производства. В настоящее время исследование в таких условиях не проводилось, а рекомендации отсутствуют [9–20].

В литературных источниках встречаются сведения использования нетрадиционного биологически активного фитосырья и пряно-ароматического сырья для регулирования технологического процесса приготовления жидких ржаных кислотосодержащих полуфабрикатов. Они преимущественно содержат в своем составе соединения полифенольной природы различных классов, кислоты, ароматические масла и другие соединения, которые влияют на жизненный цикл культивируемых специфических микроорганизмов. Стоит отметить, что при этом такие сырьевые материалы требуют дополнительной подготовки (экстрактирование, предварительное смешивание с другими компонентами и др.), точное соблюдение технологии приготовления полуфабрикатов в производственном цикле. Несоблюдение этих мероприятий может повлечь нарушение в соотношении, и даже гибель жизнеспособных культивируемых микроорганизмов промежуточных полуфабрикатов, обусловленное высокими коагулирующими свойствами веществ, входящих в состав рассматриваемых сырьевых материалов. В Республике Беларусь некоторые виды такого сырья (хмель, женьшень, зеленый чай, корень солодки, гранат, руккола и др.) не произрастают или культивируются в очень ограниченном количестве, что требует от хлебопекарных предприятий дополнительных валютных затрат для закупок за рубежом и отражается на себестоимости готовой продукции, а соответственно экономической эффективности работы хлебопекарных предприятий. Многие аспекты реализации производственного цикла представленных жидких ржаных кислотосодержащих полуфабрикатов являются коммерческой тайной, в связи с этим технологии их получения не могут быть воспроизведены без дополнительных исследований [16, 21–22].

Сотрудниками Белорусского государственного университета пищевых и химических технологий предложены технологии жидких ржаных кислотосодержащих полуфабрикатов с внесением фитосырья в дискретном режиме производства хлеба из ржаной муки и смеси ржаной и пшеничной муки. Эти технологии позволяют регулировать продолжительность приготовления полуфабрикатов, в некоторых случаях, пролонгировать ее до 16 ч, интенсифицировать процесс брожения теста в среднем в 1,5–2 раза и получить готовую продукцию со стабильными потребительскими свойствами и сниженной себестоимостью в различных производственных условиях функционирования хлебопекарных предприятий [23–24].

Стоит отметить, что в литературных источниках встречаются и некоторые сведения об оптимизации технологических процессов хлебопекарного производства, которые рекомендованы и реализуются на предприятиях отрасли, в том числе и при производстве хлеба из ржаной муки и смеси ржаной и пшеничной муки. Эти направления получили свое развитие в хлебопекарной отрасли, в частности при приготовлении хлебобулочных изделий для упрощения технологического процесса. Они основаны на рассмотрении протекающих микробиологических, коллоидных, биохимических, физико-химических процессов как многофакторных систем, состояние которых оценивается качественно и количественно путем использования теории оптимизации, методов и средств математического моделирования, технологии структурного анализа и проектирования SADT и других способов [25–29].

Предлагаемые способы оптимизации технологических процессов в хлебопекарном производстве, основанные на системных методах исследований закономерности развития специфических культивируемых микроорганизмов, представлены преимущественно для таких полуфабрикатов, как жидкие ржаные закваски с завариванием и без заваривания части муки, жидкие дрожжи и тесто [23, 30–38]. Как известно, названные ржаные кислотосодержащие полуфабрикаты изготавливаются преимущественно по периодической одностадийной технологии или непрерывной двухстадийной технологии, то есть имеют существенные отличия от технологии сброженной заварки, полученной на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки. Кроме того, в представленных некоторых подходах оптимизации технологических процессов отражено поведение

рассматриваемой системы только при постоянном непрерывном режиме производства и оценен узкий спектр влияющих параметров (факторов). Оптимизация технологических параметров приготовления в дискретном режиме производства хлеба из ржаной муки и смеси ржаной и пшеничной муки рассмотрена только для жидкой ржаной закваски с завариванием части муки [23]. Использование этих подходов в представленном виде для совершенствования производственного цикла сброженной заварки, полученной на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки, или полностью не представляется возможным, или требует внесения существенных научно обоснованных корректировок.

Таким образом, в литературных источниках полностью отсутствуют научно обоснованные конкретные сведения о дополнительных технологических приемах воздействия на сброженную заварку, полученную на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки, в производственном цикле в дискретном режиме производства заварных сортов хлеба с целью стабилизации ее биотехнологических свойств и, соответственно, потребительских свойств рассматриваемого ассортимента хлебобулочных изделий. Представленные эпизодические сведения о приготовлении сброженной заварки, полученной на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки, с некоторыми отклонениями в технологических параметрах, в основном, приводятся для отдельных наименований в ассортименте заварных сортов хлеба, что обусловлено получением готовых изделий со специфическими потребительскими свойствами и никак не ориентированы на специфику дискретного режима их производства. Ряд сведений относятся к другим жидким ржаным кислотосодержащим полуфабрикатам (жидкой закваске с завариванием и без заваривания части муки, жидкие дрожжи и др.). Они не всегда полноценно могут быть использованы для приготовления сброженной заварки на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки непосредственно в дискретном режиме производства заварных сортов хлеба. Кроме того, в настоящее время в хлебопекарной отрасли Республики Беларусь не существует четкого порядка приготовления сброженной заварки, полученной на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки, в производственном цикле в дискретном режиме производства заварных сортов хлеба, не установлены особенности культивирования специфических микроорганизмов в таких условиях, которые бы обеспечивали стабилизацию биотехнологических свойств рассматриваемого полуфабриката, позволяющего получить заварные сорта хлеба со стабильно высокими потребительскими свойствами.

Как упоминалось ранее, приготовление сброженной заварки на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки является не только непрерывным, но и многостадийным процессом, поэтому при реализации ее в дискретном режиме необходимо рассматривать поэтапное приготовление полуфабриката, так как химический состав и свойства полуфабрикатов последующей стадии полностью зависят от свойств полуфабриката текущей стадии.

Ранее были проведены исследования по влиянию рецептурного состава и технологических параметров на процесс осахаривания и свойства осахаренной заварки [39]. Следующим этапом является процесс заквашивания, который может осуществляться как путем варьирования технологических параметров, так и путем поддержания их на стабильном уровне, характерном для традиционной технологии. В этих двух вариантах при использовании осахаренной заварки разного состава свойства термофильной заквашенной заварки будут изменяться также по-разному. Изучение влияния качественного состава осахаренной заварки, который обусловлен используемыми технологическими параметрами на этой стадии производственного цикла, на свойства термофильной заквашенной заварки при стабильной реализации стадии заквашивания ранее не проводилось и поэтому представляет научный и практический интерес. На основании этого были выделены цель и задачи настоящего исследования.

**Цель исследования** — установить влияние технологических параметров процесса осахаривания на биотехнологические свойства термофильной заквашенной заварки, приготовленной с использованием стабильных режимов на этой стадии.

Задачи исследования: 1) установить изменение общего количества термофильных молочнокислых бактерий *Lactobacillus delbruckii* (штамм 76), их активности и показателя кислотности термофильной заквашенной заварки при стабильной температуре и продолжительности заквашивания, стабильном количественном составе и варьируемом качественном составе используемой осахаренной заварки; 2) установить аналитические выражения, адекватно описывающие взаимосвязь исследуемых биотехнологических свойств от выбранных факторов влияния; 3) установление приемлемых диапазонов стадии осахаривания при традиционном процессе заквашивания.

**Материалы и методы исследований.** Исследования проводили в лабораториях кафедры технологии хлебопродуктов, технологии пищевых производств Белорусского государственного университета пищевых и химических технологий. Опыты повторяли 3–5 раз. Результаты обработаны статистическими методами с вероятностью 0,95. Ошибка опыта 5,0 %. В таблицах представлены средние арифметические значения полученных величин.

Общее количество молочнокислых бактерий устанавливали путем микроскопирования по методу Бургвица [41–43]. Для определения активности молочнокислых бактерий использовали метод М.П. Юргенсона и И.Ф. Романова. Метод основан на скорости изменения цвета красителя (с голубой окраски в бесцветную окраску) [41]. Кислотность термофильной заквашенной заварки устанавливали методом титрования [41–43].

Для управления процессом заквашивания и возможностью прогнозирования биотехнологических свойств термофильной заквашенной заварки на основе осахаренной заварки в дискретном режиме использовали план полного факторного эксперимента ( $3 \times 2^3$ ), состоящий из 24 опытов. Обработку экспериментальных данных проводили с использованием программного обеспечения Statgraphics Plus 5.0 Manugistics company [44–46].

Исследования проводили 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) [45].

**Результаты исследований и их обсуждение.** Предыдущими исследованиями [40] на основе обобщенных теоретических данных и имеющегося практического опыта приготовления сброженной заварки на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки при производстве заварных сортов хлеба в дискретном режиме на действующих хлебопекарных предприятиях Республики Беларусь установлены диапазоны наиболее часто изменяемых параметров на стадии осахаривания заварки:

- ♦ содержание муки ржаной сеяной  $X_1$ , %, для приготовления сброженной заварки на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки от 10,0 % до 24,0 % от массы муки по унифицированной рецептуре для заварных сортов хлеба;
- ♦ содержание солода ржаного неферментированного  $X_2$ , %, для приготовления сброженной заварки на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки от 2,0 % до 8,0 % от массы муки по унифицированной рецептуре для заварных сортов хлеба;
- ♦ продолжительность осахаривания ржаной заварки  $X_3$ , мин, от 60 мин до 720 мин;
- ♦ температура осахаривания ржаной заварки  $X_4$ , °C, от 45 °C до 65 °C.

Эти факторы обуславливают разный качественный состав получаемой осахаренной заварки и, как следствие, наличие разного содержания питательных веществ в ней при стабильном ее количестве для культивируемых в термофильной заквашенной заварке термофильных молочнокислых бактерий *Lactobacillus delbrückii* (штамм 76). Результатом чего является изменение динамики жизнедеятельности рассматриваемых микроорганизмов, продуцирование ими разного количества продуктов их жизнедеятельности и изменение биотехнологических свойств термофильной заквашенной заварки для разных ее порций, направляемых на следующую стадию производственного цикла получения сброженной заварки на ее основе.

Для установления зависимости биотехнологических свойств термофильной заквашенной заварки на основе осахаренной заварки при комплексном варьировании совокупности параметров (факторов), наиболее существенно влияющих на ее качественный состав в производственном цикле в дискретном режиме, использована универсальная статистическая графическая система Statgraphics Plus 5.0 Manugistics company [46–48]. Это позволит оптимизировать технологический процесс и научно обоснованно управлять биотехнологическими свойствами исследуемого полуфабриката.

Критериями оценки приняты следующие показатели, характеризующие биотехнологические свойства термофильной заквашенной заварки:

- ♦ общее количество термофильных молочнокислых бактерий *Lactobacillus delbrückii* (штамм 76)  $Y_1 \cdot 10^6$ , ед/г;
- ♦ активность термофильных молочнокислых бактерий *Lactobacillus delbrückii* (штамм 76)  $Y_2$ , мин;
- ♦ кислотность термофильной заквашенной заварки  $Y_3$ , град.

Для управления процессом заквашивания, выявления оптимальных диапазонов варьирования влияющих факторов, возможности прогнозировать биотехнологические свойства термофильной заквашенной заварки в программном приложении Statgraphics Plus 5.0 Manugistics company построен план полного факторного эксперимента ( $3 \times 2^3$ ), состоящий из 24 опытов. Согласно плану, представленному в табл. 1, проведены экспериментальные исследования и получены значения критериев оценки (выходные параметры) для каждого опыта.

Влияние каждого из представленных параметров (факторов) и их взаимодействие на основные критерии оценки графически отражают карты Парето (рис. 1). При их помощи и результатам дисперсионного анализа установлены незначимые коэффициенты, что позволяет упростить вид получаемого уравнения модели.

Таблица 1. План и результаты проведения эксперимента  
Table 1. Plan and results of the experiment

№ опыта	X <sub>3</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>4</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>
1	390	24,0	2,0	65	1420,1	87	9,1
2	60	24,0	8,0	45	1183,3	97	7,2
3	390	24,0	8,0	65	1491,2	85	9,4
4	720	10,0	2,0	65	1582,2	80	9,9
5	720	10,0	2,0	45	1523,4	83	9,6
6	390	24,0	2,0	45	1374,7	91	8,7
7	390	10,0	8,0	45	1315,2	93	8,5
8	720	24,0	2,0	45	1713,9	76	10,5
9	60	24,0	2,0	45	1105,5	101	6,9
10	720	24,0	2,0	65	1750,4	72	10,8
11	60	24,0	8,0	65	1123,6	103	7,0
12	60	10,0	2,0	45	1076,5	108	6,4
13	390	10,0	2,0	45	1283,3	95	8,1
14	720	10,0	8,0	45	1694,7	77	10,3
15	390	10,0	2,0	65	1300,1	93	8,4
16	60	10,0	2,0	65	1101,9	102	6,7
17	720	24,0	8,0	45	1840,5	65	11,2
18	60	10,0	8,0	45	1120,0	98	7,1
19	390	24,0	8,0	45	1672,2	78	10,1
20	720	10,0	8,0	65	1871,1	63	11,3
21	390	10,0	8,0	65	1399,3	87	9,0
22	720	24,0	8,0	65	1894,6	62	11,5
23	60	10,0	8,0	65	1110,7	102	6,9
24	60	24,0	2,0	65	1084,4	103	6,7

Анализируя результаты математической обработки, представленные на рис. 1, установили, что значимыми являются:

- ♦ для критерия оценки Y<sub>1</sub>: по отдельности факторы X<sub>3</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>1</sub>, совместно значимые факторы X<sub>3</sub> и X<sub>2</sub>;
- ♦ для критерия оценки Y<sub>2</sub>: по отдельности факторы X<sub>3</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>1</sub>, совместно значимые факторы X<sub>3</sub> и X<sub>4</sub>, X<sub>3</sub> и X<sub>2</sub>;
- ♦ для критерия оценки Y<sub>3</sub>: по отдельности факторы X<sub>3</sub>, X<sub>2</sub>, X<sub>1</sub>, совместно значимые факторы X<sub>3</sub> и X<sub>4</sub>, X<sub>3</sub> и X<sub>1</sub>.

По результатам проведенного эксперимента осуществлен перевод управляемых факторов в стандартизированный масштаб, а также статистическая обработка экспериментальных данных с целью получения уравнений регрессии упрощенного вида (1–3), адекватно описывающих зависимости исследуемых критериев оценки от выбранных параметров (факторов):

$$Y_1 = (870,79 + 0,035 \cdot X_3 + 17,47 \cdot X_1 + 9,23 \cdot X_2 + 0,035 \cdot X_3 \cdot X_2) \cdot 10^6, \quad (1)$$

$$Y_2 = 122,65 + 0,017 \cdot X_3 - 1,15 \cdot X_1 - 1,26 \cdot X_2 - 0,0018 \cdot X_3 \cdot X_2 - 0,00056 \cdot X_3 \cdot X_4, \quad (2)$$

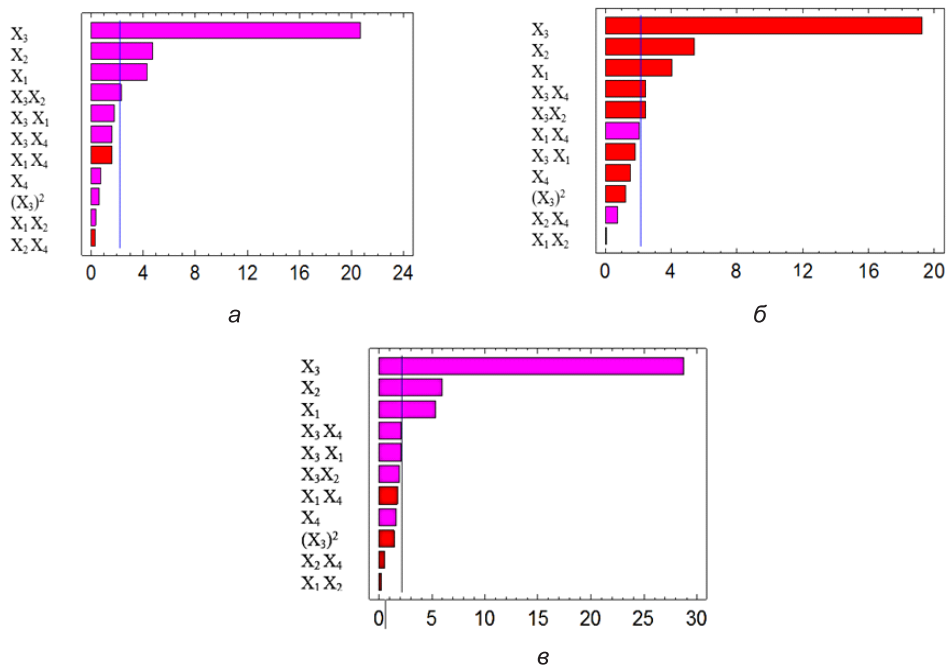
$$Y_3 = 4,67 + 0,0029 \cdot X_3 + 0,096 \cdot X_1 + 0,12 \cdot X_2 + 0,00006 \cdot X_3 \cdot X_1 + 0,00004 \cdot X_3 \cdot X_4. \quad (3)$$

Дана оценка работоспособности представленных моделей по коэффициенту детерминации R<sup>2</sup>, который для уравнения (1) составляет 0,98, для уравнения (2) — 0,99, для уравнения (3) — 0,99. Так как коэффициенты стремятся к единице, то полученные взаимодействия являются сильными, а полученные уравнения позволяют прогнозировать биотехнологические свойства термофильной заваренной заварки, полученной на основе осахаренной заварки, при возникновении нестабильного процесса осахаривания.

Для более наглядного представления статистических данных, облегчения их восприятия, помощи в уяснении сущности изучаемых явлений, выявления закономерностей и тенденции их развития построены статистические зависимости в виде проекций поверхностей отклика. Они могут быть

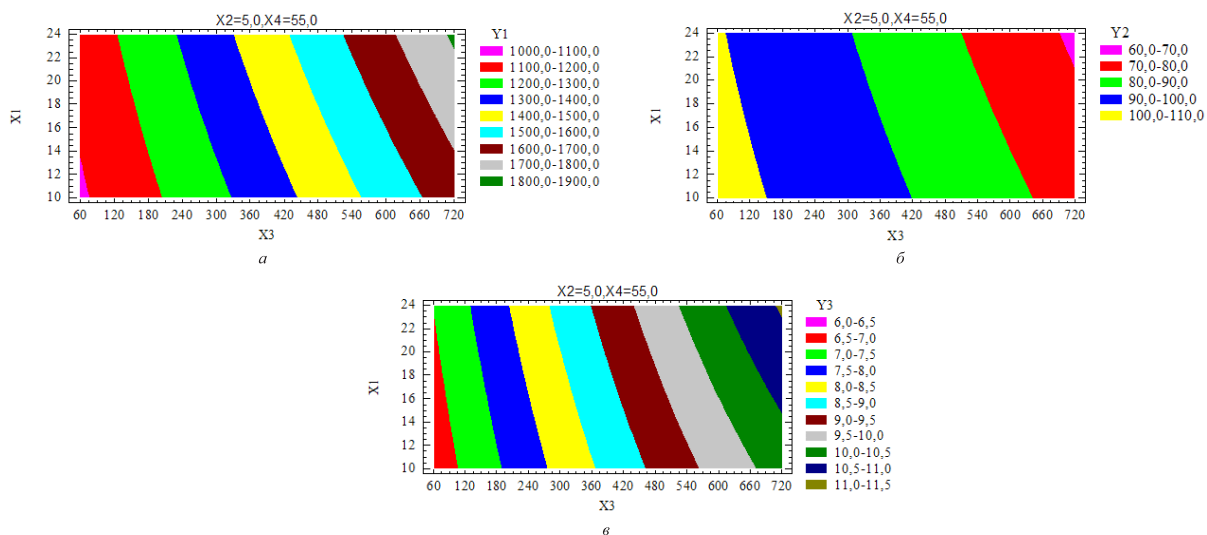


представлены при различном сочетании наиболее значимых влияющих параметров для соответствующих критериев оценки. На рис. 2 представлены некоторые поверхности отклика для рассматриваемых критериев.



а) для параметра  $Y_1$ ; б) для параметра  $Y_2$ ; в) для параметра  $Y_3$

Рис. 1. Карты Парето для биотехнологических свойств термофильной заквашенной заварки, полученной на основе осахаренной заварки  
 Fig. 1. Pareto maps for biotechnological properties of thermophilic sourdough obtained on the basis of saccharified sourdough



а) для критерия  $Y_1$  при  $X_2 = 5,0 \%$ ;  $X_4 = 55 \text{ }^\circ\text{C}$ ; б) для критерия  $Y_2$  при  $X_2 = 5,0 \%$ ;  $X_4 = 55 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  
 в) для критерия  $Y_3$  при  $X_2 = 5,0 \%$ ;  $X_4 = 55 \text{ }^\circ\text{C}$

Рис. 2. Проекция поверхностей отклика для биотехнологических свойств термофильной заквашенной заварки, полученной на основе осахаренной заварки  
 Fig. 1. Response surface projections for biotechnological properties of thermophilic sourdough obtained on the basis of saccharified sourdough

Анализ статистических, аналитических и графических результатов, представленных в таблице 1, формулах (1–3) и на рис. 2, подтверждает, что на состав и свойства осахаренной заварки наибольшее влияние оказывает, в первую очередь, продолжительность осахаривания полуфабриката ( $X_3$ , мин), затем содержание солода ржаного неферментированного ( $X_2$ , %) как источника амилолитических ферментов, и, в конечном итоге, содержание муки ржаной сеяной ( $X_1$ , %) как источника мучного питательного субстрата для действия ферментов. Температура осахаривания ( $X_4$ , °С) воздействует не на каждый критерий оценки и влияние ее менее выражено по сравнению с другими факторами, кроме того этот фактор оказывает влияние на критерии оценки только в комплексе с продолжительностью осахаривания. Это связано с тем, что оптимальной температурой совместного действия зерновых ферментов является температура от 45 °С до 65 °С. При температуре ниже 45 °С активность зерновых ферментов ничтожна, а при температуре более 65–70 °С наступает постепенная их инактивация [239–241].

Используя комплексную оценку воздействующих факторов, с помощью проекций поверхностей отклика, в том числе представленных на рисунке 2, можно установить приемлемый диапазон их варьирования при нестабильном дискретном процессе осахаривания и при стабильном непрерывном процессе заквашивания. Учитывая вышесказанное, в рассматриваемых условиях рекомендуется стадию осахаривания заварки проводить с использованием следующих условий:

- ♦ содержание в заварке муки ржаной сеяной от 14,0 % до 17,0 % от массы муки по унифицированной рецептуре для заварных сортов хлеба;
- ♦ содержание в заварке солода ржаного неферментированного сухого от 4,0 % до 5,0 % от массы муки по унифицированной рецептуре для заварных сортов хлеба;
- ♦ температура осахаривания заварки от 55 °С до 65 °С;
- ♦ продолжительность осахаривания заварки от 165 мин до 300 мин.

**Закключение.** В ходе проведенных теоретических и практических исследований отмечено, что традиционная технология сброженной заварки на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки разработана и возможна для реализации только при круглосуточном режиме производства заварных сортов хлеба с относительно постоянной производительностью по этому ассортименту. В литературных источниках отсутствуют научно обоснованные конкретные сведения о дополнительных технологических приемах воздействия на этот полуфабрикат в дискретном режиме для стабилизации его биотехнологических свойств.

В исследованиях представлены воздействующие факторы и критерии оценки, построен план эксперимента. Выявлены изменения общего количества термофильных молочнокислых бактерий, их активности и кислотности термофильной заквашенной заварки при стабильной температуре и продолжительности заквашивания, стабильном количественном составе и варьируемом качественном составе используемой осахаренной заварки. Получены уравнения регрессии, адекватно описывающие зависимости исследуемых критериев оценки от выбранных параметров (факторов) и позволяющие прогнозировать биотехнологические свойства термофильной заквашенной заварки в дискретном режиме производства заварных сортов хлеба. Установлены приемлемые диапазоны варьирования количественного состава осахаренной заварки и технологические параметры ее приготовления при нестабильном дискретном процессе осахаривания и при стабильном непрерывном процессе заквашивания.

#### Список использованных источников

1. Производство заварных сортов хлеба с использованием ржаной муки: монография / Л. И. Кузнецова [и др.]. — СПб.: ГосНИИХП, 2003. — 298 с.
2. Кузнецова, Л. И. Современные технологии ржаного заварного хлеба / Л. И. Кузнецова // Хлебопечение России. — 2007. — №3. — С. 10–11.
3. Кузнецова, Л. И. Технология ржаного хлеба в условиях дискретного производства / Л. И. Кузнецова // Хлебопродукты. — 2006. — №2. — С. 46–47.
4. Костюченко, М. Н. Инновационные технологии производства хлебобулочных изделий / Н. М. Костюченко, Л. А. Шлеленко, Н. Т. Чубенко // Хлебопечение России. — 2012. — №3. — С. 16–18.
5. Производство заварных сортов хлеба в условиях дискретного режима работы хлебопекарных предприятий Республики Беларусь / Т. А. Гуринова [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. — 2013. — №3 (38). — С. 109–115.
6. Сборник технологических инструкций по производству хлебобулочных изделий: в 2 т. Т. 1 / Государственное предприятие «Белтехнохлеб»; разработ. Л. С. Колосовская [и др.]. — Минск: Бизнесофсет, 2011. — 348 с.
7. Гуринова, Т. А. Исследование технологического процесса приготовления сброженных заварок в постоянно изменяющихся условиях работы хлебопекарных предприятий / Т. А. Гуринова,

- Т. Д. Самуйленко, Е. А. Назаренко // Вестник Могилевского государственного университета продовольствия. — 2013. — №2 (15). — С. 9–13.
8. *Корячкина, С. Я.* Разработка способа активации ржаных заквасок / С. Я. Корячкина, Н. Березина, А. Бобров // Хлебопродукты. — 2007. — №12. — С. 58–59.
  9. *Богатырева, Т. Г.* Научные основы технологий хлебобулочных изделий с направленным культивированием микроорганизмов: дис. ...д-ра. тех. наук в виде научн. докл.: 05.18.01 / Т. Г. Богатырева. — М., 2000. — 67 с.
  10. Жидкие закваски с применением нутовой муки / Л. П. Пашенко [и др.] // Хлебопечение России. — 2004. — №6. — С. 14–15.
  11. Совершенствование технологии производства ржано-пшеничного хлеба на жидких заквасках с завариванием части муки / Е. А. Назаренко [и др.] // Хлебопек. — 2007. — №6. — С. 30–32.
  12. *Корячкина, С. Я.* Использование нетрадиционного сырья при производстве ржаных заквасок / С. Я. Корячкина, Н. А. Березина // Известия вузов. Пищевая технология. — 2001. — №4. — С. 99.
  13. *Аширова, Ю. А.* Разработка технологии использования послеспиртовой барды из топинамбура в технологии хлеба из ржаной муки и смеси ее с пшеничной: дис. ...канд. тех. наук.: 05.18.01 / Ю. А. Аширова. — Москва, 2009. — 188 с.
  14. *Аширова, Ю. А.* Технология ржаных полуфабрикатов с применением послеспиртовой барды из топинамбура / Ю. А. Аширова, Т. Б. Цыганова // Хлебопродукты. — 2009. — №11. — С. 44–46.
  15. *Белянина, Н. Д.* Разработка технологии применения побочных пищевых продуктов при производстве хлеба из смеси ржаной и пшеничной муки: дис. ...канд. тех. наук: 05.18.01 / Н. Д. Белянина. — Москва, 1984. — 263 с.
  16. Пищевые ингредиенты в производстве хлебобулочных и мучных кондитерских изделий: монография. — М.: ДеЛи плюс, 2013. — 526 с.
  17. Технология ржано-пшеничного хлеба на основе зерновых заквасок / Т. Г. Богатырева [и др.] // Хлебопродукты. — 2016. — №9. — С. 41–43.
  18. Приготовление закваски с применением амаранта / С. А. Шеламова [и др.] // Хлебопродукты. — 2018. — №6. — С. 46–48.
  19. *Чалдаев, П. А.* Овсяная закваска для производства хлебобулочных изделий повышенной пищевой ценности / П. А. Чалдаев, А. В. Зимичев // Хлебопечение России. — 2013. — №3. — С. 26–28.
  20. *Бойцова, Т. М.* Технология производства ржано-пшеничного хлеба на основе обогащенной закваски / Т. М. Бойцова, О. М. Назарова // Хлебопечение России. — 2017. — №3. — С. 16–19.
  21. *Белокурова, Е. В.* Разработка технологии использования хмелевого экстракта в производстве хлебобулочных изделий: дис. ...канд. тех. наук: 05.18.01 / Е. В. Белокурова. — Воронеж, 2008. — 205 с.
  22. *Жамукова, Ж. М.* Разработка технологии хлебобулочных изделий функционального назначения с использованием биофлавоноидов зеленого чая: дис. ...канд. тех. наук: 05.18.01 / Ж.М. Жамукова. — Москва, 2006. — 179 с.
  23. *Самуйленко, Т. Д.* Технология жидкой ржаной закваски с использованием коры дуба для производства хлеба в дискретном режиме: дис. ...канд. тех. наук: 05.18.01 / Т. Д. Самуйленко. — Могилев, 2016. — 232 л.
  24. Моделирование жизненного цикла дрожжей и молочнокислых бактерий в биотехнологических процессах хлебопекарного производства: отчет о НИР (заключительный) / Учреждение образования «Могилевский государственный университет продовольствия»; рук. Т. Д. Самуйленко. — Могилев, 2018. — 205 с. — № ГР 20163247.
  25. *Елецкий, И. К.* Оптимизация процесса приготовления теста на основе микробиологических параметров / И. К. Елецкий // Хлебопекарная и кондитерская промышленность. — 1977. — №9. — С. 24–25.
  26. *Блохина, И. М.* Управление процессами культивирования микроорганизмов / И. М. Блохина, В. И. Огарков, Г. А. Угадчиков. — Горький: Волго-Вятское книжное изд-во, 1983. — 200 с.
  27. *Злобин, Л. А.* Оптимизация технологических процессов хлебопекарного производства. Повышение эффективности производства и качества продукции: монография / Л. А. Злобин. — М.: Агропромиздат, 1987. — 200 с.
  28. *Лабутина, Н. В.* Использование SADT при разработке технологической схемы производства замороженных ржано-пшеничных полуфабрикатов / Н. В. Лабутина, В. И. Карпов, В. Я. Черных // Известия вузов. Пищевая технология. — 2002. — №2–3. — С. 61–62.
  29. *Белявская, И. Г.* Моделирование и оптимизация технологических процессов хлебопекарного производства / И. Г. Белявская. — М.: МГУПП, 2005. — 51 с.
  30. *Краснов, А. Е.* Регрессионная модель процесса кислотонакопления в хлебном полуфабрикате и ее реализация / А. Е. Краснов, Д. Л. Злобин // Хлебопечение России. — 2005. — №1. — С. 19–21.
  31. *Сербулов, Ю. С.* Моделирование процесса культивирования микроорганизмов в жидкой ржаной закваске / Ю. С. Сербулов, Н. М. Дерканосова, Т. Попова // Хлебопродукты. — 1994. — №9. — С. 5–7.

32. *Дерканосова, Н. М.* Моделирование процесса приготовления жидкой ржаной закваски / Н. М. Дерканосова, О. А. Лукинова // *Хранение и переработка сельхозсырья*. — 2000. — №10. — С. 11–15.
33. *Дерканосова, Н. М.* Научно-практические основы совершенствования производства хлеба с применением традиционных и комбинированных ресурсов: дис. ...д-ра. тех. наук.: 05.18.01 / Н. М. Дерканосова. — Воронеж, 2001. — 484 с.
34. Математическое моделирование динамики биологических систем: учебное пособие / Н. М. Дерканосова [и др.]; под ред. В.И. Новосельцева. — Воронеж: Изд-во «Кварта», 2003. — 152 с.
35. *Малютина, Т. Н.* Разработка модифицированных технологий жидкой ржаной закваски со стабильными показателями: дис. ...канд. тех. наук.: 05.18.01 / Т. Н. Малютина. — Воронеж, 2005. — 169 с.
36. *Быковченко, Т. В.* Компьютерное моделирование в технологии производства хлебобулочных изделий с использованием жидких дрожжей / Т. В. Быковченко, Р. Д. Поландова, А. В. Пономарев // *Кондитерское и хлебопекарное производство*. — 2010. — №7–8. — С. 6–8.
37. *Быковченко, Т. В.* Технологии жидких дрожжей и хлебобулочных изделий в условиях дискретного производства: дис. ...канд. тех. наук.: 05.18.01 / Т. В. Быковченко. — М., 2009. — 192 л.
38. *Черных, И. В.* Совершенствование технологии ржаного и ржано-пшеничного хлеба на основе оптимизации биотехнологических свойств полуфабрикатов: дис. ...канд. тех. наук.: 05.18.01 / И. В. Черных. — М., 2009. — 187 с.
39. *Самуйленко, Т. Д.* Исследование процесса осахаривания ржаных заварок в технологии заварного хлеба при дискретном режиме производства / Т.Д. Самуйленко, А.В. Акулич // *Health, Food & Biotechnology*. — 2020. — Volume 2, Issue 2. — С. 60–74 (<https://doi.org/hfb2020.i1.s>, <https://doi.org/10.36107/hfb.2020.i2>).
40. *Самуйленко, Т. Д.* Технологии сброженной заварки в дискретном режиме производства заварных сортов хлеба: монография / Т. Д. Самуйленко, А. В. Акулич. — Могилев: БГУТ, 2021. — 260 с.
41. *Афанасьева, О. В.* Микробиология хлебопекарного производства / О. В. Афанасьева. — СПб.: Береста, 2003. — 220 с.
42. Методические указания по проведению санитарно-микробиологического контроля на хлебопекарных предприятиях / Государственное предприятие «Белтехнохлеб», разработ. А. И. Старовойтова, А. И. Базан; лаборатория индикации возбудителей инфекционных и паразитарных заболеваний ГУ «Республиканский центр гигиены и эпидемиологии» Минздрава Республики Беларусь, разработ. Ф.М. Фидаров, Л.А. Федоренчик. — Минск, 2002. — 30 с.
43. Методические указания по проведению испытаний качества полуфабрикатов хлебопекарного производства / Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «Белтехнохлеб», разработ. Л. В. Карнышова, Л. И. Севастей. — Минск, 2008. — 15 с.
44. *Дюк, В. А.* Логический анализ данных: уч. пособие, 1-е изд. — Санкт-Петербург: Лань, 2020. — 80 с.
45. 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: отчет о НИР (заключительный): ГЗ 19–05 ГПНИ «Качество и эффективность агропромышленного производства», подпрограмма «Продовольственная безопасность»: 3.68 / Учреждение образования «Могилевский государственный университет продовольствия»; рук. Т. Д. Самуйленко; исполн. Т. А. Гуринова [и др.]. — Могилев, 2020. — 189 с. — № ГР 20191859.
46. *Грачев, Ю. П.* Математические методы планирования экспериментов: учебное пособие / Ю. П. Грачев, Ю. М. Плаксин. — М.: ДеЛи принт, 2005. — 294 с.
47. *Берестнева, О. Г.* Прикладная математическая статистика / О. Г. Берестнева, О. В. Марухина, Г. Е. Шевелев. — Томск: Издательство томского политехнического университета, 2012. — 188 с.
48. *Попов, Л. А.* Анализ и прогнозирование временных рядов STATGRAPHICS Centurion: учебное пособие / Л. А. Попов. — М.: Изд-во Рос. экон. акад., 2006 — 118 с.

#### Информация об авторах

*Самуйленко Татьяна Дмитриевна* — кандидат технических наук, доцент, заведующая аспирантурой учреждения образования «Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий» (пр-т Шмидта, д. 3, 212027, г. Могилев, Республика Беларусь). E-mail: [TataSam@tut.by](mailto:TataSam@tut.by)

#### Information about authors

*Samuylenko Tatyana Dmitrievna* — PhD (Technical), associate Professor, head of the Postgraduate Course, Mogilev State University of Food Technologies (3 Schmidt Avenue, Mogilev, 212027, Republic of Belarus). E-mail: [TataSam@tut.by](mailto:TataSam@tut.by)

УДК 664.64.016.8

[https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-2\(56\)-21-25](https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-2(56)-21-25)

Поступила в редакцию 12.05.2022

Received 12.05.2022

**Н. С. Лаптенюк, Т. В. Ивашкевич**

*Научно-производственное республиканское дочернее унитарное предприятие «Белтехнохлеб»  
РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»,  
г. Минск, Республика Беларусь*

## **ВЛИЯНИЕ АВТОЛИТИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ МУКИ НА ОБЪЕМ РЖАНЫХ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

**Аннотация.** В статье представлены исследования показателей качества формовых хлебобулочных изделий, выработанных из муки ржаной сеяной с разными показателями автолитической активности и числа падения. Определены физико-химические показатели качества готовых изделий (влажность, кислотность, пористость), объем формовых изделий. Изучено влияние автолитической активности муки ржаной сеяной и числа падения на объем готовых хлебобулочных изделий. Выявлена динамика изменения объема формовых хлебов из муки ржаной сеяной с одинаковым числом падения в зависимости от автолитической активности муки ржаной сеяной.

**Ключевые слова:** ржаные хлебобулочные изделия, автолитическая активность, число падения, объемный выход.

**N. S. Laptenok, T. V. Ivashkevich**

*Scientific and production Republican subsidiary unitary Enterprise “Beltechnohleb”  
RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus”,  
Minsk, Republic of Belarus*

## **INFLUENCE OF AUTOLYTIC FLOUR ACTIVITY ON VOLUME OF RYE BAKERY PRODUCTS**

**Abstract.** The article presents studies of the quality of rye bakery products made from seeded rye flour with different indicators of autolytic activity and falling numbers. The physicochemical indicators of the quality of finished products (moisture, acidity, porosity) have been determined and the volume of molded products. The issues of the influence of autolytic activity on the volume and dimensional stability of finished bakery products are considered. The dynamics of changes in the volume of tinned breads from seeded rye flour with the same falling number depending on the autolytic activity of seeded rye flour was revealed.

**Keywords:** bakery products, autolytic activity, falling number, quality indicators.

**Введение.** В последние годы одной из тенденций развития хлебопекарной промышленности является расширение ассортимента хлебобулочных изделий с использованием ржаной муки. Этот выбор обусловлен, в первую очередь, тем, что ржаные сорта хлеба содержат большое количество питательных веществ, богатый набор незаменимых аминокислот, являются ценным источником пищевых волокон, имеют более полноценный химический состав и низкую калорийность по сравнению с изделиями из пшеничной муки. Кроме этого, ржаной хлеб богат витаминами группы В и минералами (железо, магний, калий).

Не менее важной проблемой в хлебопекарной промышленности является гарантированное качество продукции. Качество продукции представляет собой совокупность свойств, признаков продукции, обуславливающих их способность удовлетворять потребности и запросы людей, соответствовать своему назначению и предъявляемым требованиям [1].

Одним из важнейших факторов, обуславливающих качество хлебобулочных изделий, является качество муки. Состояние углеводно-амилазного комплекса ржаной муки в наибольшей степени влияет на ее хлебопекарное достоинство, а соответственно, и на качество готовых изделий [2].

Основным показателем хлебопекарного достоинства ржаной муки является ее автолитическая активность. Автолитической активностью муки называется ее способность образовывать водорастворимые вещества при прогреве водно-мучной болтушки [3]. Несмотря на то, что ГОСТ 7045-2017 «Мука ржаная хлебопекарная. Технические условия» не регламентирует значения автолитической активности, нормы

данного показателя установлены в технологических справочных пособиях. Как известно из литературных источников, автолитическая активность муки ржаной сеяной должна быть не более 50% [3].

Число падения позволяет судить о состоянии в зерне и муке крахмала и активности расщепляющих крахмал ферментов (амилаз). Нижний предел регламентируется в ГОСТ 7045-2017 «Мука ржаная. Технические условия». Показатель числа падения для муки ржаной сеяной должен быть не менее 160 с [4].

Показатели автолитическая активность и число падения тесно коррелируют между собой, но не являются полностью сопоставимы, имеют различия. Автолитическая активность связана с активностью амилолитических ферментов, в то время как число падения учитывает состояние крахмала.

Целью данной работы являлось изучение показателей качества готовых хлебобулочных изделий из муки ржаной хлебопекарной сеяной.

**Объект исследований.** Объектом исследований являются образцы формовых хлебов из муки ржаной сеяной с разными показателями автолитической активности и числа падения.

**Результаты исследований и их обсуждение.** С целью исследования влияния муки ржаной сеяной с различной автолитической активностью и числом падения на качество формовых хлебобулочных изделий в условиях испытательной лаборатории Государственного предприятия «Белтехнохлеб» были проведены выпечки 31 образца хлеба (формового и подового) из 4 образцов ржаной сеяной муки с пониженной автолитической активностью 31,3–33,8 %, из 8 образцов муки с повышенной автолитической активностью 50,4–56,7 % и из 19 образцов муки с нормальной автолитической активностью 37,7–49,5 %.

Проведены исследования выпеченных хлебобулочных изделий из муки ржаной сеяной по показателям качества. Значения влажности исследуемых образцов хлебов составили 44,4–45,4 %, значения показателя кислотности — 4,2–5,5 град.

Значения показателя пористости исследуемых образцов хлебов, выработанных из муки ржаной сеяной с разной ферментативной активностью следующие:

- ♦ 57–61 % — в образцах хлебов, выработанных из муки ржаной сеяной с повышенной автолитической активностью. Значения коррелируют с органолептической оценкой указанных образцов хлеба: пористость неравномерная, толстостенная, с наличием крупных пор;
- ♦ 64–66 % — в образцах хлебов, выработанных из муки ржаной сеяной с пониженной автолитической активностью. Установлено, что низкая ферментативная активность образцов муки ржаной сеяной приводит к появлению плотного, мелкопористого мякиша, неравномерной пористости, с наличием крупных пор;
- ♦ 64–70 % — в образцах хлебов, выработанных из муки ржаной сеяной с нормальной автолитической активностью.

На основании полученных данных изучена динамика изменения объема исследуемых образцов хлебов из муки ржаной сеяной от автолитической активности и числа падения муки ржаной сеяной.

На рис. 1 представлена динамика изменения объема исследуемых образцов хлебов, выработанных из муки ржаной сеяной с разной ферментативной активностью.

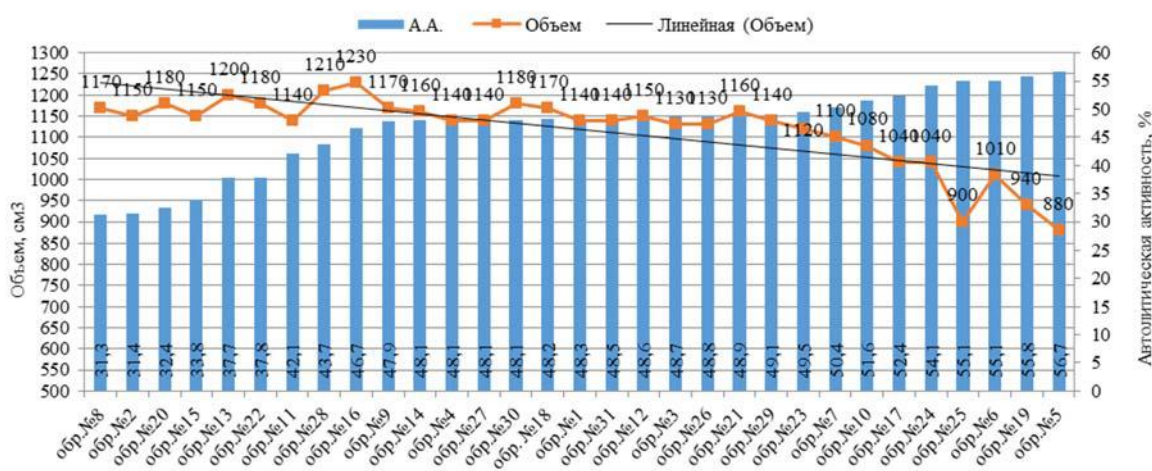


Рис. 1. Динамика изменения объема ржаных хлебов от автолитической активности исследуемых образцов муки ржаной сеяной

Fig. 1. Dynamics of changes in the volume of rye breads from the autolytic activity of the studied samples of seeded rye flour

В соответствии с рисунком 1 установлено, что объем формовых изделий, выработанных из муки ржаной сеяной с разной ферментативной активностью, варьировал от 880 см<sup>3</sup> до 1230 см<sup>3</sup>. Анализируя полученные данные, было отмечено, что объем хлебов, выработанных из муки ржаной сеяной с пониженной автолитической активностью 31,3–33,8 %, составил 1150–1180 см<sup>3</sup>. Объем хлебов с использованием муки ржаной сеяной с нормальной автолитической активностью 37,7–49,5 % находился в интервале от 1120 см<sup>3</sup> до 1230 см<sup>3</sup>. Следует отметить образцы хлебов, выработанные из муки ржаной сеяной с автолитической активностью 37,7 %, 43,7 % и 46,7 %, которые характеризовались максимальными значениями объема 1200 см<sup>3</sup>, 1210 см<sup>3</sup> и 1230 см<sup>3</sup> соответственно. Наряду с этим в образцах хлебов, выработанных из муки ржаной сеяной с повышенной автолитической активностью, наблюдались самые низкие значения объема – 880–1100 см<sup>3</sup>.

Таким образом, прослеживается тенденция: по мере повышения значений автолитической активности исследуемых образцов муки ржаной сеяной объем хлебов снижается. Однако при анализе объема готовых хлебобулочных изделий с использованием муки ржаной сеяной с нормальной автолитической активностью необходимо учитывать состояние углеводно-амилазного комплекса ржаной сеяной муки. Как известно, для оценки углеводно-амилазного комплекса муки ржаной применяется также показатель «число падения», нижний предел которого регламентируется в ГОСТ 7045-2017 «Мука ржаная. Технические условия» [3]. Автолитическая активность связана с активностью амилолитических ферментов, в то время как число падения учитывает состояние крахмала [4, 5]. В результате проведенных исследований получена также зависимость объема ржаных хлебов и от числа падения исследуемых образцов муки ржаной сеяной (рис. 2).

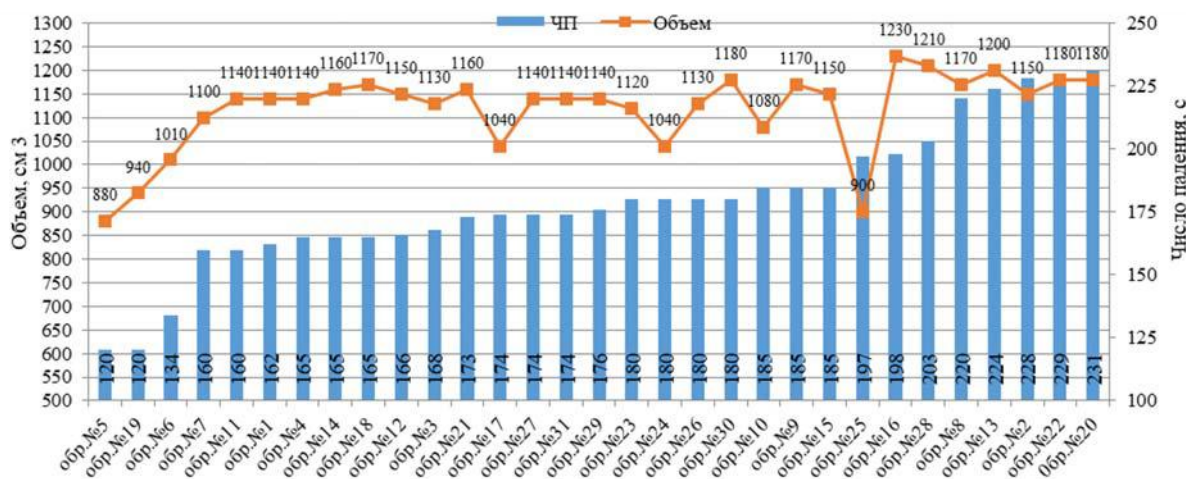


Рис. 2. Динамика изменения объема ржаных изделий от числа падения исследуемых образцов ржаной муки

Fig. 2. Dynamics of changes in the volume of rye products from the falling number of the studied samples of rye flour

Установлено, что в диапазоне числа падения 160–180 с объем хлеба составил 1040–1180 см<sup>3</sup>, в интервале числа падения от 185 до 198 с соответственно 900–1230 см<sup>3</sup>. При повышении числа падения муки от 203 с до 231 с объем хлеба варьировал от 1150 см<sup>3</sup> до 1210 см<sup>3</sup>. Таким образом, результаты исследований показали, что прослеживалась нелинейная зависимость изменения объема ржаных хлебов от числа падения исследуемых образцов ржаной сеяной муки.

В соответствии с рис. 2 максимальным значением объема хлеба 1230 см<sup>3</sup> характеризовался образец № 16, выработанный из муки ржаной сеяной с числом падения 198 с. Наряду с этим, объем хлеба образца № 25, выработанного из муки ржаной сеяной с числом падения 197 с, составил 900 см<sup>3</sup>. Полученные результаты свидетельствуют о влиянии автолитической активности муки на качество готовых изделий. Следовательно, показатели автолитической активности и число падения тесно коррелируют между собой, но не являются полностью сопоставимыми, имеют различия [6, 7]. Так, образец хлеба № 25 выработан из муки ржаной сеяной с повышенной автолитической активностью (55,0 %), в то время как, образец № 16 выработан из муки ржаной сеяной с нормальной автолитической активностью (46,7 %).

Наиболее ярко выраженное влияние автолитической активности ржаной сеяной муки на объем хлеба наблюдалось при одном и том же значении числа падения. Следует отметить образцы хлебов

№ 15, № 9, № 10, выработанные из муки ржаной сеяной с одинаковым значением числа падения (185 с), но с разными значениями объема готовых изделий — 1150 см<sup>3</sup>, 1170 см<sup>3</sup> и 1080 см<sup>3</sup>. Указанные образцы хлебов выработаны из муки ржаной сеяной с разными значениями автолитической активности (33,8 %, 47,9 % и 51,6 %). Можно предположить, что образец хлеба из муки ржаной сеяной № 10 содержит большое количество мелких и более поврежденных крахмальных зерен. Поврежденные и мелкие крахмальные зерна атакуются ферментами легче, в результате водорастворимых веществ образуется больше, соответственно, выше автолитическая активность (51,6 %), и, как следствие, наблюдалось ухудшение качества хлебобулочных изделий, что подтверждается низким объемом исследуемого образца хлеба № 10. Пониженная ферментативная активность муки ржаной сеяной приводит также к уменьшению объемного выхода готовых изделий и появлению плотного мелкопористого мякиша, вследствие этого, объем образца хлеба № 15 из муки с пониженной автолитической активностью 33,8 % меньше относительно образца № 9, выработанного из муки с нормальной автолитической активностью 47,9 %.

Аналогичная зависимость прослеживается в образцах хлебов, выработанных из муки ржаной сеяной с числом падения 174 с (образцы № 17, № 31 и № 27). Более низкий объем (1040 см<sup>3</sup>) соответствовал образцу № 17 из муки ржаной сеяной с повышенной автолитической активностью (52,4 %). Объем хлебов № 27 и № 31 из муки ржаной сеяной с нормальной автолитической активностью (48,1 % и 48,5 %) составил 1140 см<sup>3</sup>.

В образцах хлебов, выработанных из муки ржаной сеяной с числом падения 180 с (образцы № 23, № 24, № 26 и № 30), максимальным объемом (1180 см<sup>3</sup>) характеризовался образец № 30 с более низким значением автолитической активности (48,1 %) относительно указанных образцов. Минимальный объем хлеба наблюдался в образце № 24, выработанном из муки с повышенной автолитической активностью (54,1 %), — 1040 см<sup>3</sup>. Объем хлеба образцов № 23 и № 26, выработанных из муки с нормальной автолитической активностью 49,5 % и 48,8 %, составил 1120 см<sup>3</sup> и 1130 см<sup>3</sup> соответственно.

Результаты экспериментальных исследований показали, что в диапазоне числа падения от 203 до 231 с объем хлеба в образцах из муки с нормальной автолитической активностью 37,7–43,7 % (образцы № 13, № 22 и № 28) находился в интервале от 1180 до 1210 см<sup>3</sup>. По мере повышения числа падения в указанном диапазоне выявлено снижение объема хлеба. Так, объем хлеба в образце № 28 из муки ржаной сеяной с числом падения 203 с составил 1180 см<sup>3</sup>. Характерно, что ферментативная активность образцов № 13 (37,7 %) и № 22 (37,8 %) практически одинакова, но значения объема разные. Полученные результаты могут быть обусловлены различием в структуре крахмала исследуемых образцов муки ржаной сеяной и повышенной протеолитической активностью ферментов образца № 22.

В группе исследуемых образцов муки ржаной сеяной с нормальной автолитической активностью от 48,1 % до 48,7 % в диапазоне числа падения 162–168 с также прослеживалось влияние структуры крахмала муки. В соответствии с рис. 2 в данном диапазоне числа падения наблюдался разброс по объему готовых изделий — от 1130 см<sup>3</sup> до 1170 см<sup>3</sup>. Полученные результаты могут быть обусловлены различием в свойствах крахмала исследуемых образцов муки ржаной сеяной. Более крупные и менее поврежденные зерна крахмала способствуют лучшему его набуханию, вследствие этого значения объема хлебов выше.

В образцах № 2, № 8 и № 20 из муки с пониженной автолитической активностью (31,3–33,8 %) и числом падения 220–231 с значения объема хлеба составили 1150 см<sup>3</sup>, 1170 см<sup>3</sup> и 1180 см<sup>3</sup> соответственно. Пониженная ферментативная активность муки ржаной сеяной приводит к уменьшению объемного выхода готовых изделий относительно образцов из муки с нормальной автолитической активностью и появлению плотного мелкопористого мякиша.

С учетом вышеизложенного можно сделать вывод, что максимальные значения объема формовых ржаных хлебов соответствовали образцам из муки ржаной сеяной с числом падения 198–224 с и автолитической активностью 37,7–46,9 %.

**Заключение.** На основании проведенных исследований установлено, что изменения, происходящие в свойствах и состоянии углеводно-амилазного комплекса при различных уровнях амилолитической активности муки, объясняют различия в качестве хлебобулочных изделий. Выявлена динамика изменения объема формовых хлебов из муки ржаной сеяной от показателя автолитической активности и числа падения. Получена зависимость: при повышении автолитической активности исследуемых образцов муки ржаной сеяной свыше 50,0 % объем готовых хлебобулочных изделий снижается. В группе образцов муки ржаной сеяной с пониженной и нормальной автолитической активностью при одном и том же значении числа падения установлено влияние автолитической активности муки на объем изделий.



### Список использованных источников

1. *Мартынова, О.К.* Контроль качества на предприятии / О.К. Мартынова // Приложение к журналу «Стандарты и качество». — 1999. — № 5. — С. 35–43.
2. *Ауэрман, Л. Я.* Технология хлебопекарного производства: учебник - 9-е изд.; перераб. и доп. / Л. Я. Ауэрман; под общ.ред. Л. И. Пучковой. — СПб.: Профессия, 2005. — 416 с.
3. Контроль влияния автолитической активности муки на качество ржаного хлеба [Электронный ресурс]. — Минск, 2016. — Режим доступа: <http://ipdo.kiev.ua>. — Дата доступа: 01.04.2021.
4. Мука ржаная хлебопекарная. Технические условия: ГОСТ 7045-2017. — Минск: Научно-производственное республиканское унитарное предприятие «Белорусский государственный институт стандартизации и сертификации», 2019. — 10 с.
5. *Цыганова, Т. Б.* Технология хлебопекарного производства / Т.Б. Цыганова. — Москва, 2001. — 432 с.
6. *Пучкова, Л. И.* Технология хлеба / Л. И. Пучкова, Р. Д. Поландова, И. В. Матвеева. — СПб.: «Гирд», 2005. — 559 с.
7. *Мелешкина, Е. И.* Связь числа падения со свойствами углеводно-амилазного комплекса муки / Е.И. Мелешкина // Хлебопродукты. — 2005. — № 9. — С. 28–31.

### Информация об авторах

*Лаптенок Наталья Сергеевна* — кандидат технических наук, директор Научно-производственного республиканского дочернего унитарного предприятия «Белтехнохлеб» РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Раковская, 30, 220004, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: [laptenokn@mail.ru](mailto:laptenokn@mail.ru)

*Ивашкевич Татьяна Валерьевна* — ведущий инженер-химик испытательной лаборатории Научно-производственного республиканского дочернего унитарного предприятия «Белтехнохлеб» РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Раковская, 30, 220004, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: [tv-ivashkevich.75@mail.ru](mailto:tv-ivashkevich.75@mail.ru)

### Information about authors

*Laptenok Natalia Sergeevna* — PhD (Technical), Director of Scientific and production Republican subsidiary unitary Enterprise “Beltechnohleb” RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (30 Rakovskaya St., 220004, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [laptenokn@mail.ru](mailto:laptenokn@mail.ru)

*Ivashkevich Tatiana Valeryevna* — leading specialist (chemist) testing laboratory of Scientific and production Republican subsidiary unitary Enterprise “Beltechnohleb” RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (Rakovskaya St., 30, 220004, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [tv-ivashkevich.75@mail.ru](mailto:tv-ivashkevich.75@mail.ru)

УДК 633.521:664.72

[https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-2\(56\)-26-35](https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-2(56)-26-35)

Поступила в редакцию 23.03.2022

Received 23.03.2022

**М. Е. Маслинская<sup>1</sup>, И. М. Почицкая<sup>2</sup>, Н. В. Комарова<sup>2</sup>**<sup>1</sup>РУП «Институт льна», аг. Устье, Оришанский район, Витебская область, Республика Беларусь<sup>2</sup>РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук  
Беларуси по продовольствию», г. Минск, Республика Беларусь**ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И БИОХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СЕМЯН БЕЛОРУССКИХ СОРТОВ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО**

**Аннотация.** В полевых условиях на опытных полях РУП «Институт льна» изучено 10 сортов льна масличного белорусской селекции: Салют, Брестский, Опус, Илим, Фокус, Визирь, Альянс, Дар, Славянин, Бонус. Продолжительность вегетационного периода составила 80–86 суток, высота растений — 46,9-60,1 см, техническая длина — 30,7-46,9 см, количество коробочек — 13,4-15,3 шт., число семян в коробочке — 59,1-105,2 шт., вес семян с растения — 0,342-0,600 г, масса 1000 семян 4,88-6,67 г, продуктивность 79,1-117,9 г/м<sup>2</sup>. Изучение биохимического состава включало определение таких показателей, как содержание масла, его жирнокислотный состав, содержание белка, клетчатки, золы, витамина В<sub>1</sub>, минеральный состав семян, было проведено в Республиканском контрольно-испытательном комплексе по качеству и безопасности продуктов питания РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по продовольствию». Содержание масла составило 29,2-44,8 %, массовая доля белка 19,80-21,72 %, клетчатки — 26-33,3 %, золы — 3,087-4,164 %, количество витамина В<sub>1</sub> — 0,43-0,70 мг/100г. В составе жирных кислот льняного масла изученных сортов преобладают α-линоленовая (51,4-66,6 %), линолевая (12,9-25,9 %) и олеиновая (11,1-13,9 %). Семена исследуемых сортов характеризуются высоким содержанием таких незаменимых аминокислот, как изолейцин (5,3-8,1 мг/100 г), валин (6,7-9,4 мг/100 г), метионин (8,4-10,1 мг/100 г), фенилаланин (14,9-18,4 мг/100 г), лейцин (14,2-18 мг/100 г). По минеральному составу семена льна близки к семенам зерновых культур. Основные элементы — калий, фосфор, магний, кальций, железо, натрий. Массовая доля калия составила 10000,0-11500,0 мг/кг, фосфора — 6935,0-9045,0 мг/кг, магния — 2590,0-2810,0 мг/кг, кальция — 1790,0-2345,0 мг/кг. Таким образом, химический состав семян изученных сортов льна характеризуется высокой концентрацией физиологически активных компонентов, эссенциальных структур, необходимых для функционирования органов и систем и семена являются ценным компонентом для различных отраслей перерабатывающей промышленности, в том числе и пищевой.

**Ключевые слова:** лен масличный, продуктивность, физические свойства, биохимический состав, минеральный состав.

**М. Е. Maslinskaya<sup>1</sup>, I. M. Pochitskaya<sup>2</sup>, N. V. Komarova<sup>2</sup>**<sup>1</sup>RUE “Flax Institute”, ag. Ustye, Vitebsk region, Republic of Belarus<sup>2</sup>RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National  
Academy of Sciences of Belarus”, Minsk, Republic of Belarus**STUDY OF PHYSICAL INDICATORS AND BIOCHEMICAL COMPOSITION OF SEEDS OF BELARUSIAN LINSEED VARIETIE**

**Abstract.** Under field conditions on the experimental fields of the RUE “Institute of Flax” 10 varieties of linseed of Belarusian selection were studied: Salyut, Brestsky, Opus, Ilim, Focus, Vizier, Alliance, Dar, Slavyanin, Bonus. The duration of the growing season was 80-86 days, plant height - 46.9-60.1 cm, technical length - 30.7-46.9 cm, number of capsules - 13.4-15.3 pieces, number of seeds in a capsule - 59.1-105.2 pieces, weight of seeds per plant - 0.342-0.600 g, weight of 1000 seeds 4.88-6.67 g, yield 79.1-117.9 g/m<sup>2</sup>. The study of the biochemical composition included the determination of such indicators as the content of oil, its fatty acid composition, the content of proteins, cellulose, ash content, vitamin В<sub>1</sub>, the mineral composition of seeds and was carried out at the Republican Control and Testing Complex for the Quality and Safety of Food Products of the Unitary Enterprise «The scientific and practical centre for foodstuffs of the National Academy

of Sciences of Belarus». The oil content was 29.2–44.8%, the protein content was 19.80–21.72%, the cellulose content was 26–33.3%, the ash content was 3.087–4.164%, the amount of vitamin B1 was 0.43–0.70 mg./100g. The composition of fatty acids of linseed oil of the studied varieties is dominated by  $\alpha$ -linolenic (51.4–66.6%), linoleic (12.9–25.9%) and oleic (11.1–13.9%). The seeds of the studied varieties are characterized by a high content of such essential amino acids as isoleucine (5.3–8.1 mg/100 g), valine (6.7–9.4 mg/100 g), methionine (8.4–10.1 mg/100 g), phenylalanine (14.9–18.4 mg/100 g), leucine (14.2–18 mg/100 g). According to the mineral composition, flax seeds are close to the seeds of grain crops. The main elements are potassium, phosphorus, magnesium, calcium, iron, sodium. The mass fraction of potassium was 10000.0–11500.0 mg/kg, phosphorus - 6935.0–9045.0 mg/kg, magnesium - 2590.0–2810.0 mg/kg, calcium - 1790.0–2345.0 mg/kg. Thus, the chemical composition of the seeds of the studied linseed varieties is characterized by a high concentration of physiologically active components, essential structures necessary for the functioning of organs and systems, and the seeds are a valuable component for various processing industries, including food.

**Keywords:** linseed, productivity, physical properties, chemical composition, mineral composition.

**Введение.** Проблема полноценной и здоровой пищи всегда была одной из самых важных для человечества. Одним из путей обеспечения здорового питания людей является обогащение базовых продуктов недостающими функциональными ингредиентами растительного сырья (витаминами, минеральными веществами, полиненасыщенными кислотами, пищевыми волокнами и другими) и разработка новых технологий получения этих продуктов [1–3]. Семена льна пригодны для использования в качестве компонента при разработке рецептур продуктов функционального назначения [4–6]. По расчетам специалистов ценность извлекаемых из льна биологически активных веществ может достигать 80 000 USD на 1 тонну перерабатываемого льняного сырья [7]. Фармакологическую активность семян льна в основном формируют такие соединения, как аминокислоты, полиненасыщенные жирные кислоты, протеины, витамины и пищевые волокна [8–9] (рис. 1).



Рис. 1. Физиологически активные компоненты семян льна масличного  
Fig. 1. Physiologically active components of linseed seeds

В семенах льна содержатся около 41 % жиров, 28 % пищевых волокон, а также 20% белка при зольности около 3% [10–12]. Лен — растение, дающее сырье для пищевой, химической и фармацевтической промышленности. Кроме того, он используется в лечебной и прикладной косметике, а также в качестве добавки к кормам для животных [12–13]. Дробленые семена льна в Канаде, Германии, скандинавских странах добавляются в хлебобулочные и кондитерские изделия, мясные и рыбные полуфабрикаты. Это снижает гликемический и атерогенный индекс продуктов, обогащает их пищевыми волокнами, калием и магнием (в льняной муке его в 7 раз больше, чем в бананах), ценным растительным белком [14].

Льняное масло очень богато полиненасыщенными жирными кислотами — ПНЖК [15–17].  $\alpha$ -линоленовая кислота (АЛК), содержащаяся в льняном семени, снижает содержание холестерина и улучшает клеточный метаболизм липидов [18–20] (рис. 2).

В Беларуси создано 10 отечественных сортов льна масличного, которые внесены в Государственный реестр сортов Беларуси [21]. Поэтому важным является изучение их физических свойств и химического состава в качестве компонента для различных отраслей перерабатывающей промышленности, в том числе и пищевой для создания продуктов функционального назначения.

Цель исследований — изучить физические показатели и биохимический состав сортов льна масличного белорусской селекции.

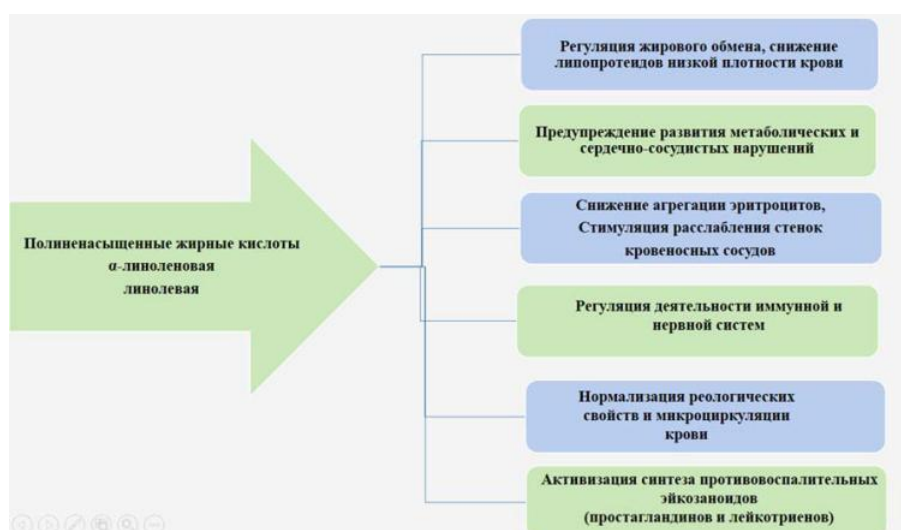


Рис. 2. Механизм действия α-линоленовой и линолевой кислот в организме человека  
Fig. 2. The mechanism of action of α-linolenic and linoleic acids in the human body

Полевые опыты заложены в РУП «Институт льна» на опытных делянках в селекционном севообороте лаборатории селекции льна масличного РУП «Института льна» согласно методическим указаниям по изучению коллекции льна (*Linum usitatissimum* L.) [22] и указаниям по селекции льна [23]. Исследования химического анализа проведены в Республиканском контрольно-испытательном комплексе по качеству и безопасности продуктов питания РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по продовольствию» согласно ГОСТ 10857-64, ГОСТ 13496.2-91, ГОСТ 26312.5-84, ГОСТ 10846-91, EN 14122-2020, МВИ.МН.1363-2000, СТБ ИСО 15304-2007, МУК 4.1.1482-2003. Математическая обработка данных проведена с использованием программ Excel-2016, Statistica 2010.

**Результаты исследований и их обсуждение.** В ходе полевых исследований изучались продолжительность вегетационного периода, продуктивность сортов и следующие морфологические показатели сортов: высота растений, их техническая длина, количество коробочек на растении, количество семян на растении, вес семян с растения, масса 1000 семян. Общая продолжительность вегетационного периода составила 80-86 суток (табл. 1). Наиболее раннеспелый сорт — Фокус (80 суток), наиболее позднеспелые — Опус и Брестский (86 суток). Установлено, что высота растений исследуемых сортов варьировала в пределах от 46,9 (у сорта Опус) до 60,1 см (у сорта Альянс). Значения показателя техническая длина изменялись от 30,7 (у сорта Визирь) до 46,9 см (у сорта Опус).

Таблица 1. Результаты исследования сортов льна масличного в полевых условиях  
Table 1. The results of the study of linseed varieties in the field conditions

Наименование сорта	Высота, см	Техническая длина, см	Количество коробочек, шт.	Число семян, шт.	Вес семян, г	Масса 1000 семян, г	Общая продолжительность вегетационного периода, дней	Продуктивность, г/м <sup>2</sup>
Фокус	47,3	34,0	8,8	59,1	0,393	<b>6,67</b>	80,0	97,4
Дар	51,1	38,1	<b>13,4</b>	79,5	0,422	5,34	83,0	79,1
Визирь	48,7	30,7	<b>15,3</b>	<b>105,2</b>	<b>0,600</b>	5,74	86,0	92,2
Альянс	<b>46,9</b>	33,2	9,7	74,6	<b>0,437</b>	5,85	83,0	85,9
Славянин	49,3	34,6	10,3	74,3	<b>0,449</b>	<b>6,03</b>	84,0	<b>116,4</b>
Бонус	<b>47,0</b>	36,0	8,6	63,4	0,342	5,37	83,0	<b>117,9</b>
Салют	<b>47,0</b>	36,0	8,6	63,4	0,342	5,37	85,0	<b>116,2</b>
Опус	60,1	<b>46,9</b>	12,2	79,0	0,382	4,88	86,0	82,2
Илим	56,1	<b>40,4</b>	11,3	74,8	0,426	5,63	85,0	86,3
Брестский	52,0	37,9	11,0	77,6	0,412	5,44	86,0	81,6
мин	46,9	30,7	8,6	59,1	0,342	4,88	80,0	79,1
макс	60,1	46,9	15,3	105,2	0,600	6,67	86,0	117,9
<i>HCP<sub>05</sub></i>	<i>1,41</i>	<i>1,42</i>	<i>0,70</i>	<i>4,05</i>	<i>0,020</i>	<i>0,15</i>	<i>0,60</i>	<i>4,94</i>

Далее определены показатели, формирующие продуктивность семян. Максимальное количество коробочек сформировали растения сортов Дар и Визирь, значения данных показателей составили 13,4-15,3 шт.

Число семян в коробочке в зависимости от сорта варьировало от 59,1 у сорта Фокус до 105,2 у сорта Визирь. Минимальный вес семян с растения отмечен у сортов Бонус и Салют (0,342 г), максимальный — у сорта Визирь (0,600 г). Масса 1000 семян у изучаемых сортов изменялась в пределах 4,88 (у сорта Опус) — 6,67 г (у сорта Фокус). Высокие значения данного показателя отмечены также у сорта Славянин (6,03 г).

Интервал варьирования значений показателя продуктивность семян составил 38,8 г/м<sup>2</sup>. Максимальная продуктивность семян отмечена у сортов Славянин (116,4 г/м<sup>2</sup>), Салют (116,2 г/м<sup>2</sup>) и Бонус (117,9 г/м<sup>2</sup>).

Содержание масла составило 29,2-44,8 % при среднем значении 36,5 % (рис. 3). По максимальным значениям данных показателей выделены сорта Салют (40,1 %) и Фокус (44,8 %).

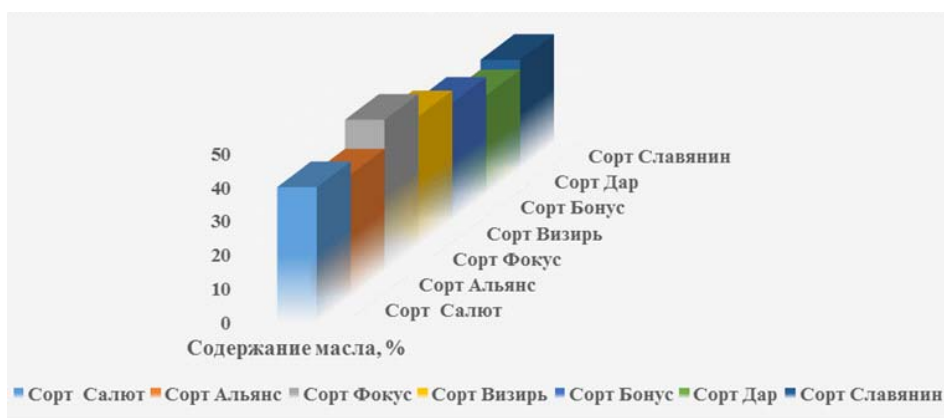


Рис. 3. Содержание масла в образцах исследуемых сортов  
Fig. 3. Oil content in samples of the studied varieties

Важнейшими компонентами жиров, определяющими их основные свойства, являются жирные кислоты. Согласно данным, приведенным в таблице 2, в составе жирных кислот льняного масла изученных сортов преобладают  $\alpha$ -линоленовая (51,4-66,6%), линолевая (12,9-25,9%) и олеиновая (11,1-13,9%).

Таблица 2. Содержание жирных кислот в масле изучаемых сортов льна масличного, в % от суммы кислот  
Table 2. The content of fatty acids in the oil of the studied varieties of linseed, in % of the amount of acids

Наименование жирной кислоты	Наименование сорта						
	Салют	Альянс	Фокус	Визирь	Бонус	Дар	Славянин
Пальмитиновая (C16:0)	4,7	4,6	4,4	5,1	4,5	5,5	4,8
Стеариновая (C18:0)	2,6	2,8	3,3	2,8	3,1	3,7	3,0
Олеиновая (C18:1)	13,2	13,9	11,8	11,1	11,8	12,9	12,2
Линолевая (C18:2) $\omega$ -6	14,3	14,6	14,0	14,2	13,5	25,9	12,9
$\alpha$ -линоленовая (C18:3) $\omega$ -3	64,8	63,7	66,1	66,4	66,7	51,4	66,6
$\omega$ -6: $\omega$ -3	0,22	0,23	0,21	0,21	0,20	0,50	0,19
Арахидиновая	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
$\gamma$ -линоленовая	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Гондоиновая	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Бегеновая	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1

Пальмитиновая и стеариновая в масле анализируемых семян содержались в количестве 4,4–5,5 и 2,6–3,7 % соответственно. Также обнаружено незначительное количество арахидиновой (0,1–0,2 %),  $\gamma$ -линоленовой (0,2 %) , гондоиновой (0,1 %) и бегоновой (0,1 %) кислот.

Как известно, рацион современно человека недостаточно сбалансирован по соотношению жирных кислот  $\omega$ -6:  $\omega$ -3, которое должно быть не менее 4:1 [24–25]. У белорусских сортов соотношение жирных кислот  $\omega$ -6:  $\omega$ -3 составило 0,19–0,50. Несмотря на обнаруженные значительные различия по данному показателю, все полученные результаты были значительно ниже 4:1, что свидетельствует о соответствии соотношения  $\omega$ -6: $\omega$ -3 рекомендуемому соотношению для здорового сбалансированного питания.

Среди изученных сортов наибольшая амплитуда изменчивости отмечена по содержанию  $\alpha$ -линоленовой (15,3 %), линолевой (13,0 %) и олеиновой (2,8 %) кислот (рис. 4).

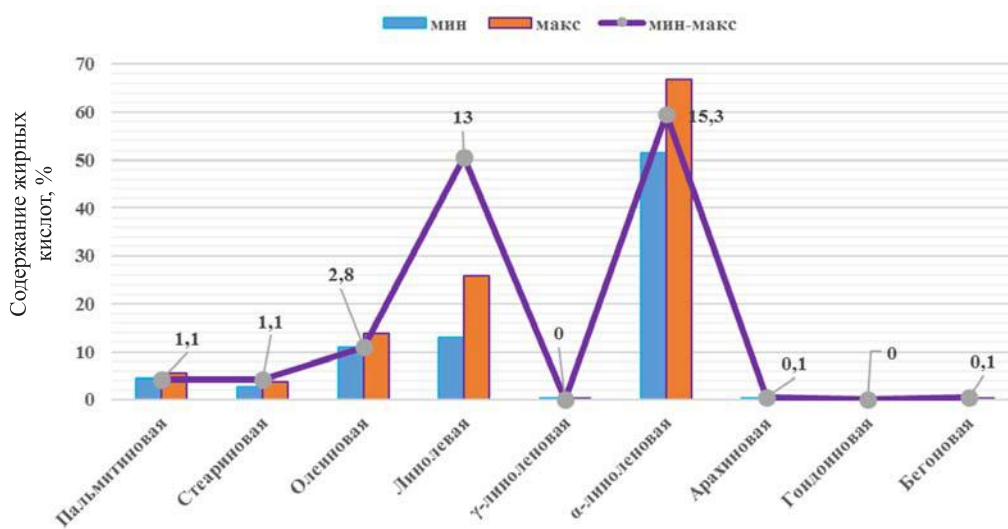


Рис. 4. Интервалы варьирования содержания жирных кислот в белорусских сортах льна масличного  
Fig. 4. Intervals of variation in the content of fatty acids in Belarusian varieties of linseed

В результате определения корреляционных зависимостей между содержанием масла и основных жирных кислот, входящих в его состав, выявлены отрицательные взаимосвязи средней силы между содержанием масла в семенах с содержанием пальмитиновой ( $r=-0,643$ ), линолевой ( $r=-0,559$ ), арахидиновой ( $r=-0,618$ ), положительные корреляции средней силы между содержанием масла и содержанием  $\alpha$ -линоленовой кислоты ( $r=0,581$ ) (табл. 3). Содержание пальмитиновой и стеариновой кислот находится в прямой зависимости от содержания линолевой кислоты ( $r=0,800$  и  $r=0,743$  соответственно) и в обратной зависимости от содержания  $\alpha$ -линоленовой кислоты ( $r=-0,770$  и  $r=-0,700$  соответственно).

Таблица 3. Корреляционные зависимости между содержанием масла и основных жирных кислот в семенах льна

Table 3. Correlations between the content of oil and essential fatty acids in flax seeds

	Содержание масла, %	Пальмитиновая	Стеариновая	Олеиновая	Линолевая	$\alpha$ -линоленовая	Арахидиновая
Содержание масла, %	1,000						
Пальмитиновая	<b>-0,643</b>	1,000					
Стеариновая	-0,394	0,425	1,000				
Олеиновая	-0,213	0,000	-0,119	1,000			
Линолевая	<b>-0,559</b>	<b>0,800</b>	<b>0,743</b>	0,272	1,000		
$\alpha$ -линоленовая	<b>0,581</b>	<b>-0,770</b>	<b>-0,700</b>	-0,394	<b>-0,991</b>	1,000	
Арахидиновая	<b>-0,618</b>	0,806	0,785	0,222	<b>0,992</b>	<b>-0,980</b>	1,000

Также следует отметить отрицательные взаимосвязи между содержанием линолевой и  $\alpha$ -линоленовой кислоты ( $r=-0,991$ ), что необходимо учитывать при ведении селекционного отбора.

Белки представляют собой высокомолекулярные органические вещества, состоящие из альфа-аминокислот, соединенных в цепочку пептидной связью. Различают полноценные и неполноценные белки. Полноценные белки включают в себя все незаменимые аминокислоты, которые самостоятельно в организме не синтезируются. Белки льна относят именно к таким белкам [26–28].

Массовая доля белка в изученных семенах льна масличного составила от 19,80 (сорт Славянин) до 21,72% (сорт Дар). Установлено, что общая масса аминокислот варьировала в пределах от 130,0 (у сорта Фокус) до 161,0 (у сорта Дар) мг/100 г. При этом сумма незаменимых аминокислот изменялась от 52,7 (у сорта Альянс) до 63,1 мг/100 (у сорта Дар). Семена исследуемых сортов характеризуются высоким содержанием таких незаменимых аминокислот, как изолейцин (5,3–8,1 мг/100 г), валин (6,7–9,4 мг/100 г), метионин (8,4–10,1 мг/100 г), фенилаланин (14,9–18,4 мг/100 г), лейцин (14,2–18 мг/100 г). Наиболее перспективные сорта — Дар и Салют, который содержат максимальное количество аминокислот в суммарном белке, в том числе и незаменимых (рис. 5).

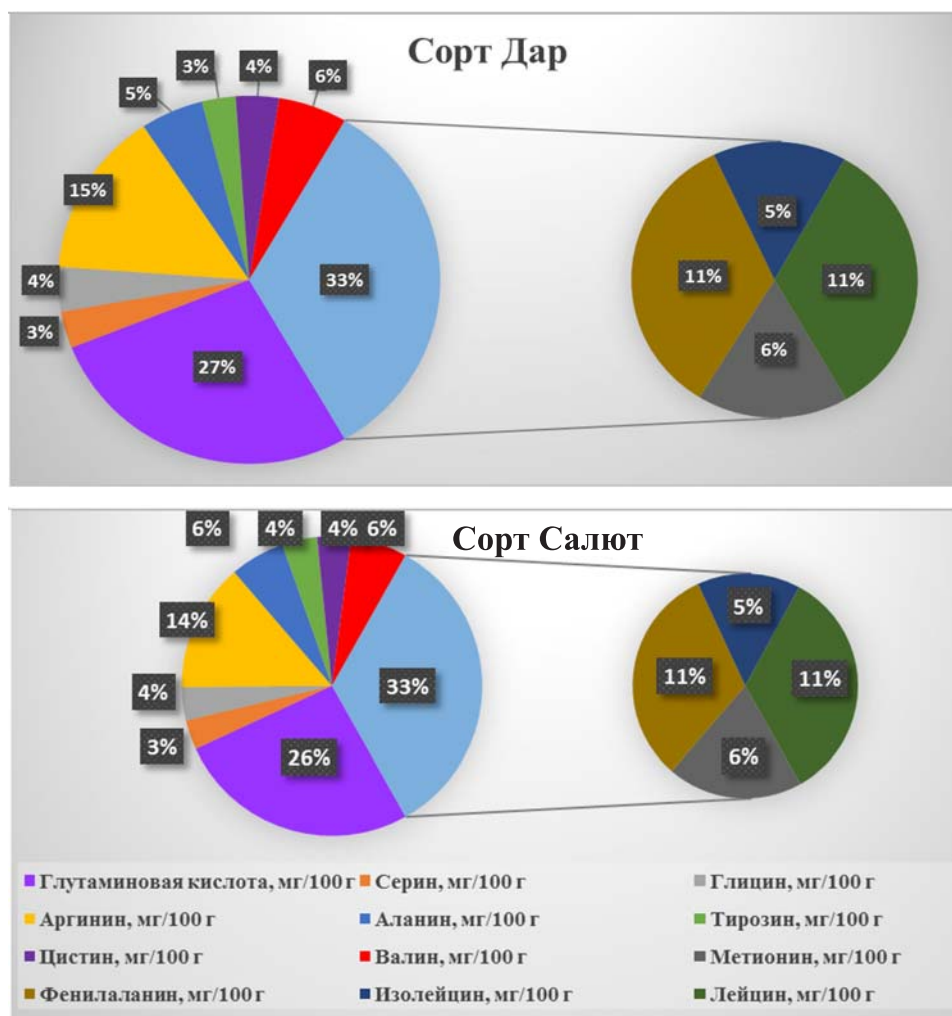


Рис. 5. Аминокислотный состав белков сортов льна масличного Дар и Салют  
Fig. 5. Amino acid composition of proteins of linseed varieties Dar and Salyut

Минимальное количество витамина В<sub>1</sub> содержится в семенах сорта Визирь (0,43 мг/100 г), максимальное — у сортов Славянин (0,64 мг/100 г), Альянс (0,66 мг/100 г) и Салют (0,70 мг/100 г) (рис. 6).

Изучен минеральный состав семян льна масличного отечественных сортов. Содержание минеральных веществ в семенах льна находится на уровне содержания данных веществ в семенах зерновых культур [29]. Основные элементы — калий, фосфор, магний, кальций, железо, натрий.

Семена льна масличного особенно богаты калием, массовая доля которого в семенах изученных сортов составила 10000,0–11500,0 мг/кг. По содержанию данного элемента следует выделить сорта Славянин (11500,0 мг/кг), Альянс (11250,0 мг/кг) и Визирь (11200,0 мг/кг) (рис. 7).

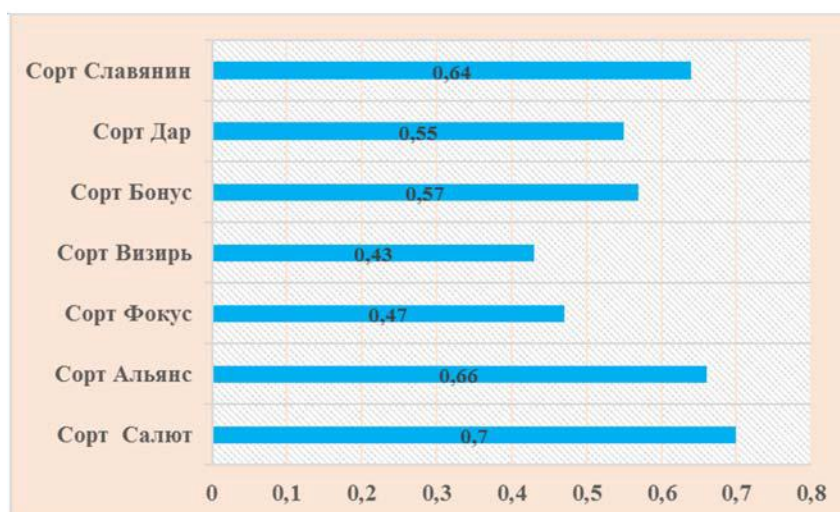


Рис. 6. Содержание витамина B<sub>1</sub> в белорусских сортах льна масличного  
 Fig. 6. The content of vitamin B<sub>1</sub> in belarusian varieties of linseed

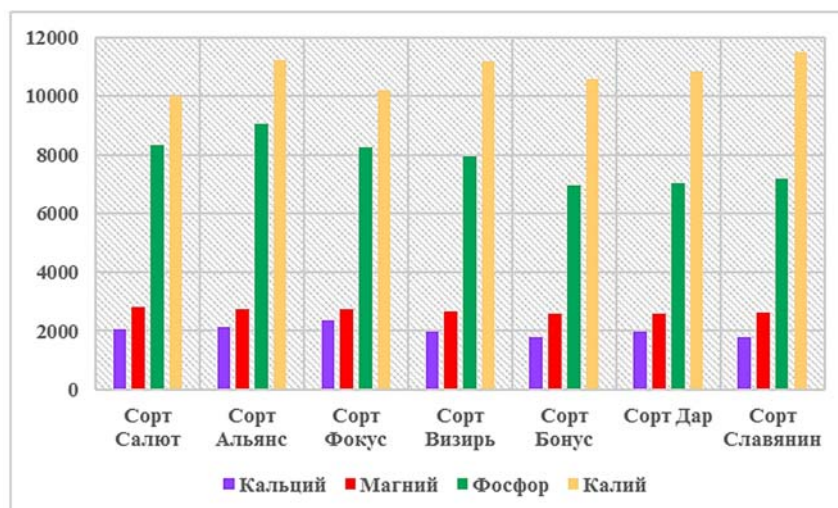


Рис. 7. Содержание основных минеральных веществ в семенах льна масличного  
 Fig. 7. The content of basic minerals in the seeds of linseed

Содержание фосфора варьировало в пределах 6935,0–9045,0 мг/кг. Максимальное его содержание отмечено в семенах сортов Альянс (9045 мг/кг), Салют (8335,0 мг/кг) и Фокус (8265,0 мг/кг).

Содержание магния в семенах белорусских сортов составило 2590,0–2810,0 мг/кг. У сортов Салют, Альянс и Фокус выявлено максимальное количество данного элемента (2810,0; 2750,0 и 2725,0 мг/кг соответственно).

Содержание кальция в семенах было незначительно ниже, чем магния и составило 1790,0–2345,0 мг/кг. Максимальное его количество отмечено в семенах сорта Фокус (2345,0 мг/кг) и значительно превышало значение данного показателя у других сортов.

В исследуемых семенах содержание натрия и железа было незначительным по сравнению с основными элементами. Так, массовая доля натрия составил 99,0–141,0 мг/кг, при этом следует выделить сорт Альянс, где обнаружено максимальное количество данного элемента (141,0 мг/кг). Массовая доля железа варьировала от 48,0 (у сорта Дар) до 67,0 мг/100 г (у сорта Альянс) (рис. 8). Таким образом по минеральному составу семян можно выделить сорта Альянс и Фокус.

Клетчатка представляет собой оболочки клеток и состоит из полисахаридов, крахмала и нерастворимых полимеров фенольного ряда и лигнинов [30]. Минимальное содержание клетчатки среди изучаемых сортов отмечено у сорта Визирь (26%), максимальное — у сорта Славянин (33,3%) (табл. 3).



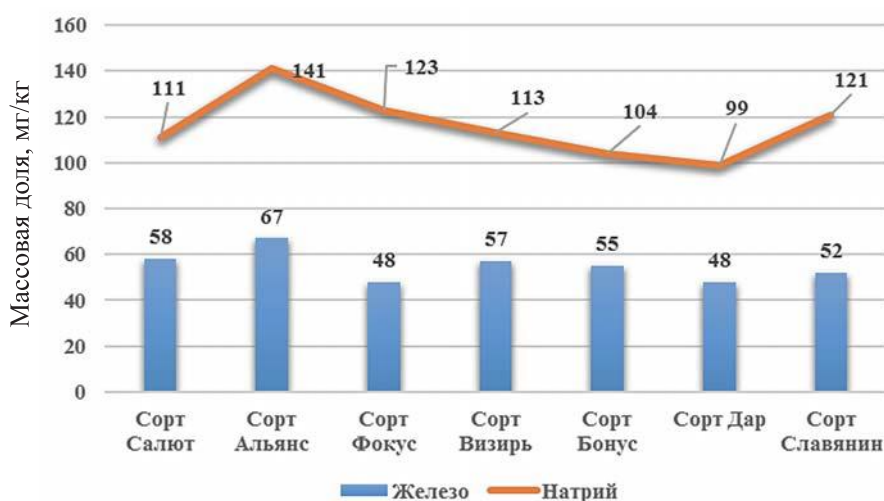


Рис. 8. Массовая доля железа и натрия (мг/кг) в составе семян сортов льна масличного  
 Fig. 8. Mass fraction of iron and sodium (mg / kg) in the composition of seeds of linseed varieties

Таблица 3. Массовая доля клетчатки и золы в белорусских сортах льна масличного  
 Table 3. Mass fraction of fiber and ash in Belarusian varieties of linseed

Наименование сорта	Массовая доля клетчатки, %	Массовая доля золы, %
Салют	27,5	3,922
Альянс	29,0	4,164
Фокус	24,8	3,910
Визирь	26,0	3,905
Бонус	32,2	3,807
Дар	30,4	4,018
Славянин	33,3	4,015

Сырая зола участвует практически во всех основных процессах жизнедеятельности организма как человека, так и животных от минерализации костей и водного баланса до метаболизма мышц, нервной активности и в работе ферментов [31]. Массовая доля золы в изучаемых семенах варьировала от 3,087% (сорт Бонус) до 4,164% (сорт Альянс).

**Заключение.** В результате изучения сортов льна масличного в полевых условиях установлено, что продолжительность вегетационного периода составила 80–86 суток. Наиболее раннеспелый сорт — Фокус. Максимальное количество коробочек сформировали растения сортов Дар (13,4 шт.) и Визирь (15,3 шт.). По числу семян в коробочке и их весу следует выделить сорт Визирь, который характеризовался максимальным значением данных показателей. Высокие значения массы 1000 семян сформировали растения сортов Славянин (6,03 г) и Фокус (6,67 г). По продуктивности семян отмечены сорта Славянин (116,4 г/м<sup>2</sup>), Салют (116,2 г/м<sup>2</sup>) и Бонус (117,9 г/м<sup>2</sup>). Наиболее высокая масличность семян 44,8% отмечена у сорта Фокус, при варьировании данного показателя в пределах 29,2–44,8% в зависимости от сорта. В составе жирных кислот льняного масла изученных сортов, преобладают  $\alpha$ -линоленовая (51,4–66,6%), линолевая (12,9–25,9%) и олеиновая (11,1–13,9%). Соотношение жирных кислот  $\omega$ -6:  $\omega$ -3 составило 0,19–0,50.

Выявлены отрицательные взаимосвязи средней силы между содержанием масла в семенах с содержанием пальмитиновой ( $r=-0,643$ ), линолевой ( $r=-0,559$ ), арахидовой ( $r=-0,618$ ), положительные корреляции средней силы между содержанием масла и содержанием  $\alpha$ -линоленовой кислоты ( $r=0,581$ ).

Массовая доля белка в изученных семенах льна масличного составила от 19,80 (сорт Славянин) до 21,72% (сорт Дар). Семена исследуемых сортов характеризуются высоким содержанием таких незаменимых аминокислот, как изолейцин (5,3–8,1 мг/100 г), валин (6,7–9,4 мг/100 г), метионин (8,4–10,1 мг/100 г), фенилаланин (14,9–18,4 мг/100 г), лейцин (14,2–18 мг/100 г). Максимальное количество витамина В<sub>1</sub> содержится в семенах сортов Славянин (0,64 мг/100 г), Альянс (0,66 мг/100 г) и Салют (0,70 мг/100 г). По содержанию минеральных веществ семена льна близки к семенам зерновых культур. Основные элементы — калий, фосфор, магний, кальций, железо, натрий. Минималь-

ное содержание клетчатки отмечено у сорта Визирь (26%), максимальное — у сорта Славянин (33,3%). Массовая доля золы в изучаемых семенах варьировала от 3,087% (сорт Бонус) до 4,164% (сорт Альянс).

Таким образом, химический состав семян изученных сортов льна характеризуется высокой концентрацией физиологически активных компонентов, эссенциальных структур, необходимых для функционирования органов и систем. Благодаря такому составу белорусские сорта льна масличного являются ценным компонентом для различных отраслей перерабатывающей промышленности, в том числе и пищевой.

#### Список использованных источников

1. Бобков, В. А. Технология мучных смесей для продуктов функционального назначения: диссертация ... кандидата технических наук: 05.18.01 / Бобков Владимир Александрович. Москва, 2009. — 184 с.
2. Технология функциональных продуктов питания: учеб. пособие для СПО / под общ. ред. Л. В. Донченко. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Издательство Юрайт, 2018. — 176 с.
3. Clydesdale, F. Functional foods: Opportunities and challenges. / F. Clydesdale // Food technology magazine. — 2004. - Volume 58, No. 12.
4. Конева, С.И. Особенности использования продуктов переработки семян льна при производстве хлебобулочных изделий / С.И. Конева // Ползуновский вестник. — 2016 г. — №3. — С. 35–38.
5. Усень, Ю. С. Использование биопотенциала семян льна для создания пищевых концентратов функционального назначения / Ю. С. Усень, Л. В. Филатова, М. Ю. Уложинова // Пищевая промышленность: наука и технологии. — 2017. — №2. — С. 53–59.
6. Миневиц, И. Э. Функциональная значимость семян льна и практика их использования в пищевых технологиях / И. Э. Миневиц // Health, Food & Biotechnology. — 2019. — № 1. — <https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i2.s224/>
7. Еникеева, А. Р. Эколого-экономические аспекты глубокой переработки льна / А.Р. Еникеева, А.В. Артемов // Дизайн и технологии. — 2009. — №14(56). — С. 69–77.
8. El-Beltagi, H. S. Evaluation of fatty acids profile and the content of some secondary metabolites in seeds of different flax cultivars (*Linum usitatissimum*) / El-Beltagi, H.S., Salama, Z.A., El-Harir, D.M. // General and Applied Plant Physiology. — 2007. — Vol. 33. — P. 187–202.
9. Nagaraj, G. *Linseed*. In: Oil Seeds, Properties, Processing, Products and Procedures. / Linseed G. Nagaraj // New India Publishing Agency, New Delhi, India. — 2009. — P. 123.
10. Wang, B. Effect of Moisture Content on the Physical Properties of Fibered Flaxseed / B. Wang, D. Li, L. J. Wang, Z.G. Huang, L. Zhang, X.D. Chen, Z.H. Mao // International Journal of Food Engineering. — 2007. — №3(5). — P. 1–11.
11. Zhang, Z. S. Ultrasound-assisted extraction of oil from flaxseed / Z. S. Zhang, L. J. Wang, D. Li, S.S. Jiao, X.D. Chen, Z.H. Mao // Separation and Purification Technology. — 2008. — №62. — P. 192–198.
12. Goyal, A. Flax and flaxseed oil: an ancient medicine & modern functional food / A. Goyal, V. Sharma, N. Upadhyay, S. Gill, and M. Sihag, J. // Food Sci. Technol. — 2014. — Vol. 51, no. 9. — P. 1633–1653. doi:10.1007/s13197-013-1247-9
13. Heller, K. Yields of linseed cultivar Bukoz in organic and conventional farming / Heller K., Wielgusz K. // J. Res. Appl. Agric. Eng. — 2011. — 56(3). — P. 138–142.
14. Zajac, T. Determinant of linseed (*Linum usitatissimum* L.) yield and its nutritional and medicinal importance / T. Zajac, A. Oleksy, B. Kulig, A. Klimek // Acta Sci. Pol., Agric. — 2010. — 9(2). — P. 47–63.
15. Тырлова, О. Ю. Разработка технологии безглютеновых полуфабрикатов в тесте с использованием полуобезжиренной льняной муки: диссертация ... кандидата технических наук. — Санкт-Петербург, 2018. — 142 с.
16. Hunter, J. E. N-3 fatty acids from vegetable oils. / J.E. Hunter // Am. J. Clin. Nutr. — 1990. — № 51(5). — P. 809–814.
17. Fataneh, P. K. Influence of different levels of nitrogen, phosphorus and potassium on yield and yield components of flax seed oil (*Linum usitatissimum* L.) variety Lirina / P.K. Fataneh, I. Hamid, M. Majid, O. Hussein // J. Med. Plants Res. — 2012. — № 6(6). — P. 1050–1054. doi: 10.5897/JMPR11.1194
18. Cunnane, S. C. High  $\alpha$ -linolenic acid flaxseed (*Linum usitatissimum*): Some nutritional properties in humans / S.C. Cunnane, S. Ganguli, C. Menard // British Journal of Nutrition. — 1993. — 69 (2). — P. 443–453.
19. Heller, K. The cultivation of linseed by ecological methods / K. Heller, A. Andruszewska, K. Wielgusz // J. Res. Appl. Agric. Eng. — 2010. — 55(3). — P. 112–116.

20. *Ganorkar, P. M.* Flaxseed — a nutritional punch / P.M. Ganorkar, R.K. Jain // *Int. Food Res. J.* — 2013. — 20(2). — P. 519–525.
21. Государственный реестр сортов / Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Государственное учреждение «Государственная инспекция по испытанию и охране сортов растений». — Минск: Информационно-вычислительный центр Национального статистического комитета Республики Беларусь, 2021. — 279 с.
22. Методические указания по изучению коллекции льна (*Linum usitatissimum* L.); под ред. канд. с.-х. наук Н.К. Лемешева. — Ленинград, 1988. — 29 с.
23. Методические указания по селекции льна-долгунца; под ред. доктора с.-х. наук В.Ф. Козловской. — Москва, 2004. — 43 с.
24. *McDaniel, J.* Beneficial n-3 polyunsaturated fatty acid levels and n-6:n-3 ratios after 4-week EPA + DHA supplementation associated with reduced / J. McDaniel, E. Ickes, C. Holloman // *CRP: a pilot study in healthy young adults. Modern Research in Inflammation.* — 2013. — 2 (4). — P. 59–68. <http://dx.doi.org/10.4236/mri.2013.24008>
25. *Simopoulos, AP.* The importance of a balanced  $\omega$ -6 to  $\omega$ -3 ratio in the prevention and management of obesity / AP. Simopoulos, JJ. DiNicolantonio // *Open Heart.* — 2016;3:e000385. doi: 10.1136/openhrt-2015-000385
26. *Воронова, Н. С.* Исследование белков льна как полноценных и необходимых для здоровья человека / Н. С. Воронова, Л. С. Бередица // *Молодой ученый.* — №14 (94). — 2015. — С. 144–146.
27. *Поляков, В. А.* Изучение белкового комплекса семян льна / В. А. Поляков, А. Н. Левчук, В. А. Лях // *Вісник Запорізького національного університету.* — 2011. — №2. — С.23–28.
28. *Миневич, И. Э.* Влияние ИК-облучения на биологическую ценность семян льна / И. Э. Миневич, И. В. Ушаповский // *Аграрная наука.* — 2020. — №343 (11). — С. 134–136.
29. *Мартинчик, А. Н.* Пищевая ценность и функциональные свойства семян льна / А. Н. Мартинчик, А. К. Батурин, В. В. Зубцов, В. Ю. Малофеев // *Вопросы питания.* — 2012. — №3. — С. 3–8.
30. *Фитохимический анализ: учеб. пособие / Н. В. Кудашкина, С. Р. Хасанова, С.А. Мешерякова.* — Уфа: ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, 2019. — 193 с.
31. *Ковтунова, Н. А.* Современная оценка питательности кормов сорговых культур / Н. А. Ковтунова, В. В. Ковтунов, С. И. Горпиниченко, Н.И. Сарычева // *Научный журнал КубГАУ.* — 2016. — №123(09). — С. 1–10.

#### Информация об авторах

*Маслинская Маргарита Евгеньевна* — кандидат сельскохозяйственных наук, ученый секретарь Республиканского научного дочернего унитарного предприятия «Институт льна» (ул. Центральная, 27, Устье, 211003, Республика Беларусь). E-mail: mme-83@tut.by

*Почицкая Ирина Михайловна* — кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник — руководитель научно-исследовательской группы Республиканского контрольно-испытательного комплекса по качеству и безопасности продуктов питания РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (220037, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Козлова, 29). E-mail: pochitskaja@yandex.ru

*Комарова Наталья Викторовна* — кандидат технических наук, начальник Республиканского контрольно-испытательного комплекса по качеству и безопасности продуктов питания РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: rkik-npc@mail.ru

#### Information about authors

*Maslinskaya Marharyta Evgenievna* — PhD (Agricultural), Scientific Secretary of the Republican Scientific Subsidiary Unitary Enterprise «Institute of flax» (27 Central Str., Ystye, 211003, Republic of Belarus). E-mail: mme-83@tut.by

*Pochitskaya Iryna Mikhailovna* — PhD (Agricultural), leading researcher — head of the research group of the Republican control and testing complex for foodstuffs quality and safety of RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: pochitskaja@yandex.ru

*Komarova Natalia Viktorovna* — PhD (Technical), the head of the Republican control and testing complex for foodstuffs quality and safety of RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29 Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: rkik-npc@mail.ru

УДК 636.087.24 + 546.841  
[https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-2\(56\)-36-44](https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-2(56)-36-44)

Поступила в редакцию 04.05.2022  
Received 04.05.2022

**Е. М. Моргунова, В. В. Соловьев**

*РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»,  
г. Минск, Республика Беларусь*

## **КЛЕТОЧНЫЕ СТЕНКИ ДРОЖЖЕЙ — ЭФФЕКТИВНЫЙ АДсорбЕНТ МИКОТОКСИНОВ В КОРМАХ**

**Аннотация.** В мире серьезное внимание уделяется разработке современных и эффективных способов обеззараживания кормов от микотоксинов. В силу характерных погодных условий в Республике Беларусь практически все крупные животноводческие комплексы и частные фермерские хозяйства сталкиваются с проблемой микотоксикозов у животных и птиц, а это в свою очередь оказывает огромное влияние на безопасность кормов и в последующем на безопасность пищевой продукции. Решить проблему микотоксинов в кормах можно путем использования различных адсорбентов. На роль таких адсорбентов подходит адсорбент микотоксинов на основе клеточных стенок дрожжей. В данной статье приведены результаты исследований по изучению физико-химических свойств клеточных стенок дрожжей и их адсорбционной способности методом высокоэффективной жидкостной хроматографии, с использованием референтного образца мультитоксинов Trylogy, по отношению к таким микотоксинам, как афлатоксин В1, охратоксин А, зеараленон, дезоксиниваленон. Полученные результаты показывают, что клеточные стенки дрожжей обладают хорошей адсорбционной способностью по отношению к высокомолекулярным микотоксинам и плохо адсорбируют низкомолекулярные микотоксины.

**Ключевые слова:** дрожжевая клетка, биополимеры дрожжевой клетки, ферментные препараты, ферментативный гидролиз, деструкция, адсорбционная способность, адсорбенты, микотоксины.

**A. M. Marhunova, V. V. Solovyov**

*RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus”,  
Minsk, Republic of Belarus*

## **YEAST CELL WALLS ARE AN EFFECTIVE MYCOTOXIN ADSORBENT IN FEED**

**Abstract.** In the world, serious attention is paid to the development of modern and effective methods for disinfecting feed from mycotoxins. Due to the characteristic weather conditions in the Republic of Belarus, almost all large livestock complexes and private farms are faced with the problem of mycotoxicosis in animals and birds, and this, in turn, has a huge impact on feed safety and, subsequently, on food safety. The problem of mycotoxins in feed can be solved by using various adsorbents. A mycotoxin adsorbent based on yeast cell walls is suitable for the role of such adsorbents. This article presents the results of studies on the physicochemical properties of yeast cell walls and their adsorption capacity by high performance liquid chromatography, using a reference sample of Trylogy multitoxins, in relation to such mycotoxins as aflatoxin B1, ochratoxin A, zearalenone, deoxynivalenol. The obtained results show that yeast cell walls have good adsorption capacity for high molecular weight mycotoxins and poorly adsorb low molecular weight mycotoxins.

**Keywords:** yeast cell, yeast cell biopolymers, enzyme preparations, enzymatic hydrolysis, destruction, adsorption capacity, adsorbents, mycotoxins.

**Введение.** Контаминация кормов микотоксинами является проблемой мирового масштаба на сегодняшний день. Поставщик решений для кормления сельскохозяйственных животных регулярно исследует на микотоксины не только зерно, но и другую растениеводческую продукцию. Так в 2021 году специалисты компании Alltech (США) изучили 274 образца ячменя, пшеницы, кукурузы и кукурузного силоса, сенажа, гороха, овса, подсолнечного шрота, тритикале, сои, убранных с конца июля до середины ноября 2020-го. Пробы кормов были отобраны, помимо России, в Испании, Португалии, Дании, Венгрии, Германии, Великобритании, Чехии, Эстонии, Марокко и некоторых

других странах [1]. В исследовании отмечено, что в течение всего вегетационного периода прошлого года погодные условия на европейской части варьировали, что привело к распространению плесневых грибов и микотоксинов в разных регионах. В результате значительная часть образцов была загрязнена различными видами микотоксинов. В 80,7 % образцов были найдены фумонизины, в 74,5 % — трихотецены типа В. Более 75 % поражены так называемыми «новыми микотоксинами», к которым относятся боверицин, монилиформин, фомопсин А, альтерналиол, энниатин А и В. Зеараленон — микотоксин, негативно влияющий на репродуктивные показатели животных, — был обнаружен лишь в 7,0 % образцов. Такой же процент проб загрязнен афлатоксином В1. Последние два показателя получились ниже ожидаемого благодаря более сухим, чем обычно, условиям на большей части Центральной и Восточной Европы в 2021 году. При этом предельная по стандартам ЕС концентрация афлатоксина В1 (20 мкг/кг) была превышена только в 0,36 % образцов [1].

Микотоксины нарушают функционирование внутренних органов, в том числе желудочно-кишечного тракта, нервной, эндокринной, иммунной и репродуктивной систем. Все это ведет к снижению скорости роста или ухудшению конверсии корма, падению молочной продуктивности, возникновению заболеваний [2–4].

В соответствии с требованиями Ветеринарно-санитарных правил обеспечения безопасности кормов, кормовых добавок и сырья для производства комбикормов в зерне, поставляемом на кормовые цели (пшеница, ячмень, овес, рожь, тритикале, просо, сорго, кукуруза) регламентируется содержание микотоксинов [5].

Таблица 1. Требования по содержанию микотоксинов в зерне для кормов [5]  
Table 1. Requirements for the content of mycotoxins in feed grains [5]

Наименование микотоксина	Содержание, мг/кг, не более
Афлатоксин В1	0,02
Охратоксин А	0,05
Т-2 токсин	0,1
Дезоксиниваленол (ДОН)	1,0
Зеараленон	1,0
Фумонизин	5,0 - (кукуруза)
Сумма афлатоксинов В1, В2, G1, G2	0,02

В процессе производства пива используются пивные дрожжи (*Saccharomyces carlsbergensis*), которые накапливаются при сбраживании пивного сула. Около 40 % этих дрожжей используют в новых циклах брожения в качестве засевных, а 60 % являются отходом пивоваренного производства (избыточные пивные дрожжи) и подлежат утилизации.

Дрожжевая клетка состоит в среднем на 75 % из воды и 25 % сухих веществ. Химический состав их изменяется в зависимости от расы, питательной среды и физиологического состояния [6, 7].

Из общего количества белковых веществ дрожжей 90 % приходится на истинные белки. Наиболее известными из них являются зимо-казеин (фосфопротеид) и церевизин (альбумин). Содержание нуклеопротеидов, которыми богаты ядра дрожжевых клеток, составляет 26 % от общего количества белков. Нуклеопротеиновые кислоты (простетическая группа нуклеопротеидов) при гидролизе образуют пуриновые и пиримидиновые основы, сахар (рибозу или дезоксирибозу) и фосфорную кислоту [8].

Дрожжевая клетка защищена снаружи клеточной стенкой толщиной около 70 нм. Клеточные стенки дрожжей имеют слоистую структуру. Внешний слой клеточной стенки представляет собой гладкую мембрану, под ним лежит маннано-протеиновый комплекс. Общая масса клеточной стенки дрожжей может достигать 25 % от массы всей клетки. Клеточная стенка обладает рыхлой структурой и ее компоненты связаны с интегрированными в мембрану транспортными белками. Внешний слой клеточной стенки представляет собой гладкую мембрану, под ним лежит маннано-протеиновый комплекс. Во внутреннем слое расположены аморфные маннаны, структурообразующие β-глюканы и протеины, связанные сеткой из микрофибрилл, состоящих из глюканов. Основной структурный компонент клеточной стенки дрожжей — это полисахарид β-глюкан. β-1,3 и β-1,6-глюканы клеточной стенки *Saccharomyces cerevisiae* являются одним полимером с молекулярной массой ~ 240000, в котором основная цепь представлена β-1,6-глюканом, а боковые цепи — β-1,3-глюкозидными остатками. В среднем клеточная стенка состоит на 55 — 65 % из глюканов, на 35 — 40 % — из маннано-белков (маннанопротеинов), на 9 % — из липидов и на 1 — 2 % — из хитина (рис. 1) [9 — 12].

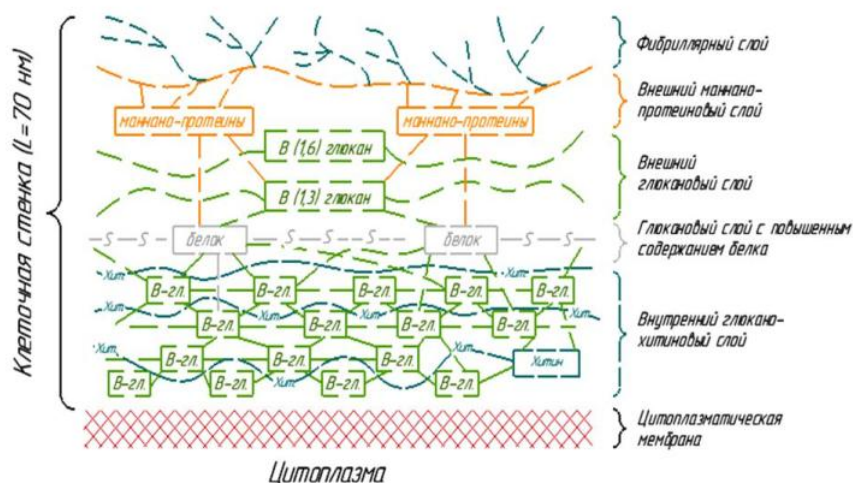


Рис. 1. Строение клеточной стенки дрожжей [9–12]  
 Fig. 1. Yeast cell wall structure [9–12]

В составе клеточной стенки *Saccharomyces cerevisiae* находят аминоксахара типа глюкозаминов, не сходных с хитином или хитозаном. Эти аминоксахара, как правило, являются составной частью гликопротеинов [11]. Клеточная стенка состоит на 40 % из маннанопротеинов и на 2 % из хитина; остальное приходится на  $\beta$ -глюкан.  $\beta$ -1,3 и  $\beta$ -1,6-глюканы клеточной стенки *Saccharomyces cerevisiae* являются одним полимером с молекулярной массой  $\sim 240000$ , в котором основная цепь представлена  $\beta$ -1,6-глюканом, а боковые цепи —  $\beta$ -1,3-глюкозидными остатками [12].

Установлено, что растворимые  $\beta$ -глюканы обладают большей физиологической активностью, чем нерастворимые. Показано, что, в сравнении с другими глюканами,  $\beta$ -(1→3), (1→6)-D-глюкан дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* проявляет наибольшую физиологическую активность [13].

В результате анализа литературных источников отмечено, что полисахаридная оболочка дрожжевых клеток обладает высокой адсорбционной способностью к высокомолекулярным микотоксинам (охратоксин А, Т-2 токсин, дезоксиниваленол (ДОН), зеараленон) и практически не адсорбируют низкомолекулярные микотоксины (афлатоксин В<sub>1</sub>, Фумонизин) [14, 15].

Функциональные свойства адсорбента микотоксинов заключаются в следующем: способны адсорбировать значительное количество желчных кислот, токсины и электролиты, могут выводить ионы тяжелых металлов и радионуклиды; положительно воздействуют на микрофлору пищеварительного тракта, оказывает бактерицидное действие; адсорбент обладает избирательным действием — он сохраняет важные элементы, сахара и аминокислоты, нейтрализуя при этом действие токсинов и мутагенов [16, 17].

Применение клеточной стенки дрожжей в качестве энтеросорбента в кормах имеет преимущество перед неорганическими энтеросорбентами, так как ее важной характеристикой является селективность, поскольку неселективные энтеросорбенты, удаляя из химуса часть полезных веществ, могут приводить к осложнениям, особенно при длительном применении [18, 19].

На сегодняшний день в мире существуют некоторые препараты-сорбенты на основе клеточных стенок дрожжей, а также имеются данные по их способности адсорбировать микотоксины. Основным сорбентом для микотоксинов является препарат «Микосорб» (Alltech, США), полученный на основе глюканов, выделенных из внутренней части дрожжевой клеточной стенки. Аналогичный продукт изготавливает компания «Angel» (China). «Микосорб» обладает адсорбирующей способностью в отношении широкого спектра микотоксинов. Оптимальная норма для птицы от 500 до 1000 г на 1 т корма. Была выявлена зависимость применения «Микосорба» с уменьшением синергичного взаимодействия микотоксинов на кур. Включение в рацион загрязненной кукурузы, которая была контаминирована естественным путем микотоксинами (33 мкг/кг афлатоксином; 0,68 мг/кг зеараленоном; 4,5 мг/кг фумонизином; 0,39 мг/кг Т-2 токсином и 1,4 мг/кг дезоксиниваленолом) привело к снижению продуктивности птиц. Был проявлен синергизм между микотоксинами кукурузы и афлатоксином, дополнительно добавленным в рацион в дозе 3 мг/кг. Включение афлатоксина в корм привело к увеличению печени, сердца. Вес селезенки был также более высок у птиц, потреблявших загрязненную кукурузу + афлатоксин. Добавление в корм «Микосорба» (1 кг/тонну корма) снизило смертность птиц, употребивших загрязненный афлатоксином корм. «Микосорб» был способен минимизировать отрицательные воздействия микотоксинов [20, 21].

В связи с вышеизложенным актуальным направлением исследований является изучение адсорбционной способности клеточных стенок дрожжей клеток к высокомолекулярным и низкомолекулярным микотоксинам с использованием референтного образца мультитоксинов Trylogy и применением метода высокоэффективной жидкостной хроматографии.

**Материалы и методы исследований.** Исследования проводили на базе Республиканского контрольно-испытательного комплекса по качеству и безопасности продуктов питания РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» на поверенном оборудовании, обеспечивающем достоверность результатов измерений, в количестве трех параллельных измерений.

Объектом исследования являлись клеточные стенки гидролизованных дрожжей.

Для выполнения аналитических исследований применяли общепринятые органолептические и физико-химические методы анализа [22–28].

Для получения клеточных стенок дрожжей проводили направленный гидролиз биополимеров клеток дрожжей *Saccharomyces carlsbergensis* по ранее установленным оптимальным режимам и параметрам [29].

Таблица 2. Параметры процесса гидролиза биополимеров дрожжевой клетки [29]  
Table 2. The parameters of the process of hydrolysis of biopolymers of yeast cells [29]

Значение параметра				
Ферментные препараты		рН	пауза	
наименование	дозировка, ед. активности / г с.в. дрожжей		t, °С	время, мин
Термостабильная $\alpha$ -амилаза	1,0	5,3	38	50
Кислая протеаза	2,0		52	50
Глюкоамилаза	10,0		65	40
Липаза	2,0		77	50
Маннаназа	10,0		95	5

Ферментные препараты вносили в начале процесса гидролиза. Для проведения экспериментальных работ использовали ферментные препараты, характеристика которых представлена в табл. 3.

Таблица 3. Характеристика ферментных препаратов [29]  
Table 3. Characterization of enzyme preparations [29]

Наименование ферментного препарата	Стандартизированная активность
Термостабильная $\alpha$ -амилаза (Ликвафло)	1460 ед. АС/см <sup>3</sup>
Кислая протеаза (Талзим АПЛ-50)	420 ед. ПС/см <sup>3</sup>
Глюкоамилаза (Сахзайм Плюс 2Х)	22300 ед. ГЛС/см <sup>3</sup>
Липаза	45000 ед. ЛС/см <sup>3</sup>
Маннаназа	22000 ед. МС/г

Направленный гидролиз биополимеров дрожжевой клетки проводили в лабораторном ферментере, при этом дрожжевую биомассу в объеме 10 дм<sup>3</sup> предварительно подкисляли молочной кислотой до рН от 5,2 до 5,4 и проводили процесс гидролиза при интенсивном перемешивании гидролизуемой среды. В дрожжевой суспензии пивных дрожжей определяли содержание сухих веществ рефрактометрическим методом, которое составило 15,3 %. Гидролизат избыточных пивных дрожжей представляет собой жидкую субстанцию, состоящую из продуктов автолиза и гидролиза биополимеров дрожжевой клетки (аминокислоты, витамины, низкомолекулярные углеводы и др.) с содержанием сухих веществ от 10 до 20 %.

Выделение клеточных стенок дрожжей из гидролизованной дрожжевой суспензии проводили посредством сепарирования на лабораторной установке (рис. 2), состоящей из сепаратора GEА тип FТС 1-06-107, винтового насоса Бурун С03/4-0,55/4, пульта управления.

Сушку клеточных стенок дрожжей вели на экспериментальной распылительной сушилке в лабораторных условиях РУП «Институт мясо-молочной промышленности». Схема экспериментальной распылительной сушилке представлена на рис. 3.

При сушке продуктов на распылительных сушилках происходит непосредственное взаимодействие распыленного на мелкие частицы продукта и теплоносителя (горячего воздуха). Вследствие большой площади контакта жидкого продукта и теплоносителя достигается высокая скорость сушки, что позволяет получить высококачественный, хорошо растворимый порошок. Кроме того, про-

цесс сушки протекает очень быстро (от десятых долей до нескольких секунд) и поэтому даже чувствительные к нагреву материалы, не успевают разложиться при высушивании.

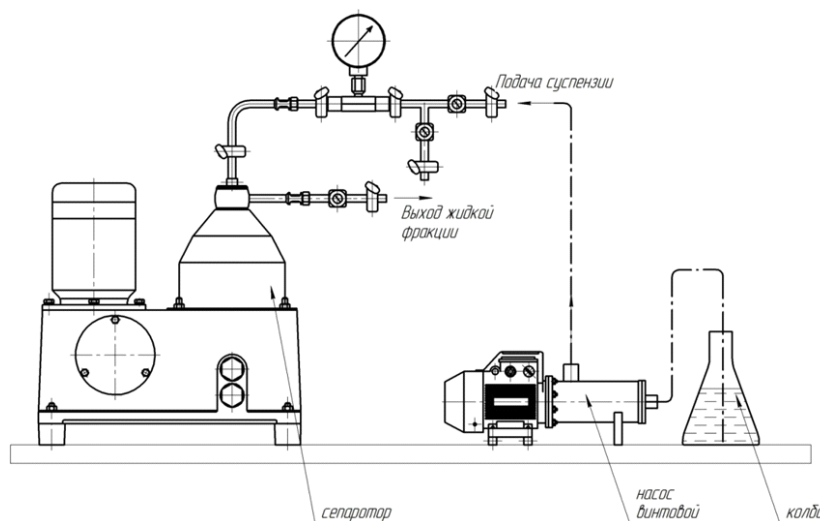


Рис. 2. Схема лабораторной установки для сепарирования дрожжевого гидролизата [29]  
 Fig. 2. Diagram of a laboratory setup for the separation of yeast hydrolyzate [29]

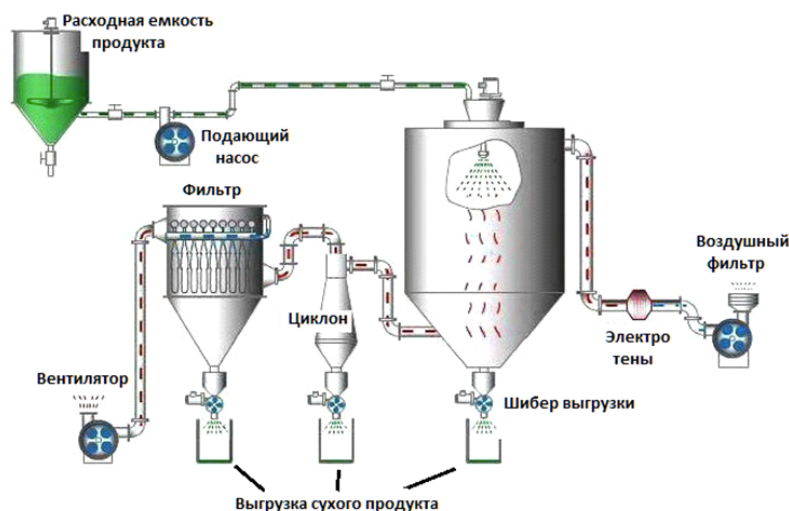


Рис. 3. Схема экспериментальной распылительной сушилки  
 Fig. 3. Spray dryer layout

В результате проведения экспериментальных работ было установлено, что клеточные стенки дрожжей по своим физико-химическим и коллоидным свойствам подходят для сушки на распылительных сушилках.

В результате проведенных исследований были определены режимы сушки клеточных стенок дрожжей на распылительной сушилке: температура воздуха на входе в сушильную камеру — от 175 до 185 °С, на выходе из сушильной камеры — от 70 до 80 °С; массовая доля сухих веществ в смеси, поступающей на сушку —  $15 \pm 5\%$ ; температура смеси, поступающей на сушку — от 15 до 20 °С. Высушенные клеточные стенки дрожжей представлены на рис. 4.

С целью исследования адсорбционной способности клеточных стенок гидролизованых дрожжей использовали референтный образец мультитоксинов (референтный материал Trylogy). Референтный образец мультитоксинов Trylogy — это кукурузная мука, естественно контаминированная микотоксинами.

Содержание микотоксинов в референтном образце Trylogy в соответствии со спецификацией изготовителя представлено в табл. 4.





Рис. 4. Сухие клеточные стенки дрожжей  
Fig. 4. Dry yeast cell walls

Таблица 4. Содержание микотоксинов в референтном материале Trylogy  
Table 4. Mycotoxin Content in Trilogy Reference Material

Наименование микотоксина	Предел обнаружения	Среднее значение концентрации	Ед. изм.
Афлатоксин В1	1,0 мкг/кг	12,3	мкг/кг
Афлатоксин В2	1,0 мкг/кг	0,7	мкг/кг
Афлатоксин G1	1,0 мкг/кг	0,7	мкг/кг
Афлатоксин G2	1,0 мкг/кг	не обнаружен	мкг/кг
Фумонизин В1	0,1 мг/кг	6,0	мг/кг
Фумонизин В2	0,1 мг/кг	1,9	мг/кг
Фумонизин В3	0,1 мг/кг	0,6	мг/кг
Охратоксин А	1,0 мкг/кг	8,6	мкг/кг
Зеараленон	50,0 мкг/кг	330,9	мкг/кг
Дезоксиваленол (ДОН)	0,1 мг/кг	2,7	мг/кг
Т-2 Токсин	5,0 мкг/кг	332,2	мкг/кг
НТ-2 Токсин	5,0 мкг/кг	240,1	мкг/кг

Для исследования адсорбционной способности клеточных стенок дрожжей готовили 4 образца на основе референтного образца Trylogy:

- ♦ образец 1 (контрольный) — 50 г референтного образца мультитоксинов + 150 см<sup>3</sup> дистиллированной воды;
- ♦ образец 2 — 50 г референтного образца мультитоксинов + 0,05 % сухих клеточных стенок гидролизированных дрожжей (0,025 г) + 150 см<sup>3</sup> воды;
- ♦ образец 3 — 50 г референтного образца мультитоксинов + 0,2 % сухих клеточных стенок гидролизированных дрожжей (0,1 г) + 150 см<sup>3</sup> воды;
- ♦ образец 4 — 50 г референтного образца мультитоксинов + 0,35 % сухих клеточных стенок гидролизированных дрожжей (0,175 г) + 150 см<sup>3</sup> воды.

Все образцы подвергали выдержке в течение 2 часов с периодическим перемешиванием с целью увеличения степени экстрагирования микотоксинов, а затем — сепарировали на лабораторной центрифуге ELM1 CM-6M в течение 6 мин при скорости 3500 об/мин. Жидкую фазу исследовали по содержанию микотоксинов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии в соответствии с принятыми методиками [25–28].

**Результаты исследований и их обсуждение.** В результате проведенного ферментативного гидролиза, сепарирования гидролизованной дрожжевой биомассы и последующей сушки получены сухие клеточные стенки дрожжей, которые по внешнему виду представляют собой однородный сухой порошок серого цвета с дрожжевым ароматом.

Далее проводили исследования физико-химических и технологических характеристик клеточных стенок дрожжей с определением их адсорбционной способности.

В результате комплексной оценки сухих клеточных стенок гидролизированных дрожжей отмечена их хорошая растворимость в холодной воде в различных дозировках; отличная гомогенизация при смешивании с мукой из различных зерновых культур; установлены органолептические и физико-хи-

мические показатели; исследована адсорбционная способность к высокомолекулярным и низкомолекулярным микотоксинам.

Органолептические характеристики клеточных стенок гидролизованных дрожжей представлены в табл. 5.

Таблица 5. Органолептические характеристики клеточных стенок дрожжей  
Table 5. Organoleptic characteristics of the cell walls of yeast

Наименование показателя	Характеристика
Внешний вид	Порошок
Цвет	От светло-серого до серого, с желтоватым оттенком
Аромат	Незначительный дрожжевой
Вкус	Нейтральный, с легким дрожжевым привкусом

В результате исследований получены данные по содержанию афлатоксина В<sub>1</sub>, охратоксина А, зеараленона, дезоксиниваленола в исследуемых образцах, представленные на рис. 5.

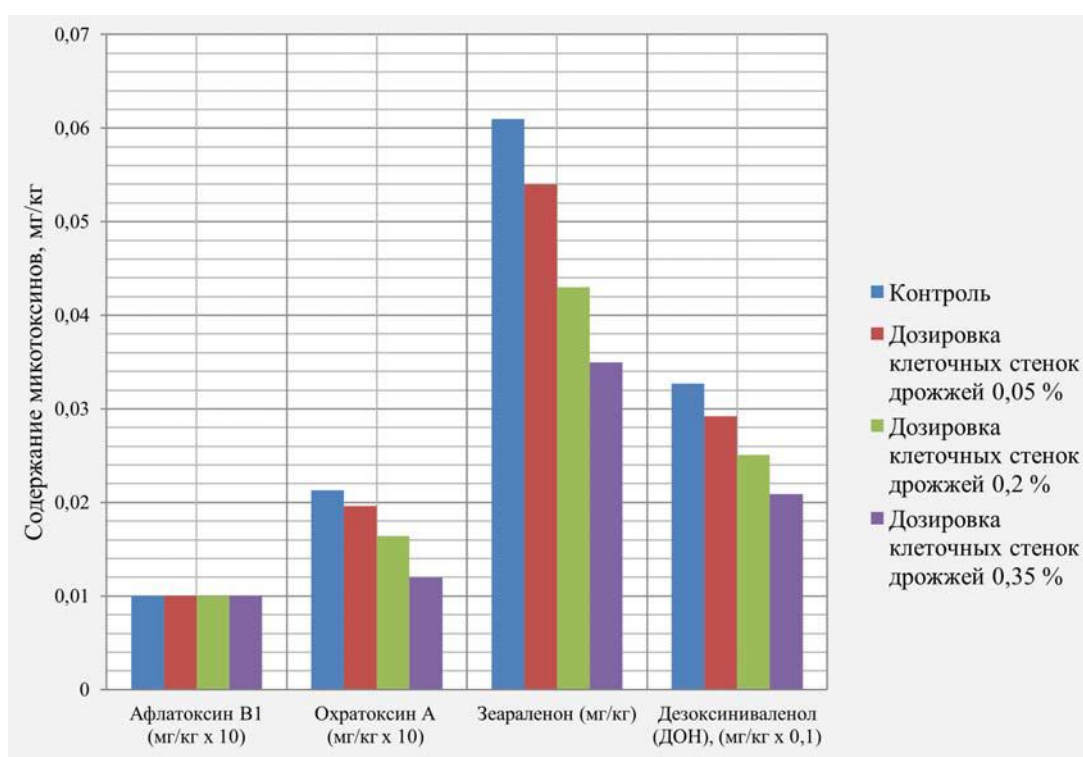


Рис. 5. Результат исследования адсорбционной способности клеточных стенок дрожжей  
Fig. 5. The result of a study of the adsorption capacity of the cell walls of yeast

В результате эксперимента установлено, что внесение клеточных стенок гидролизованных дрожжей в контаминированную микотоксинами среду в количестве 0,05 % позволяет снизить содержание охратоксина А с 0,00213 до 0,00196 мг/кг, содержание зеараленона с 0,061 до 0,059 мг/кг, содержание дезоксиваленола с 0,00327 мг/кг до 0,00292 мг/кг. Увеличение дозировки клеточных стенок гидролизованных дрожжей в контаминированную микотоксинами среду с 0,05 % до 0,35 % позволяет снизить содержание охратоксина А с 0,00196 до 0,0012 мг/кг, содержание зеараленона с 0,059 до 0,054 мг/кг, содержание дезоксиваленола с 0,00292 мг/кг до 0,00209 мг/кг.

**Заключение.** В результате проведенных исследований научно-обоснована технология получения адсорбента микотоксинов на основе избыточных пивных дрожжей, включающая: подготовку избыточных пивных дрожжей; использование для гидролиза ферментного комплекса α-амилаза + протеаза + глюкоамилаза + липаза + маннаназы; массовая доля сухих веществ дрожжевой суспензии 15 – 20 %; поэтапная ферментативная обработка: I этап – при температуре 45 – 52 °С в течение 25 – 120 минут, II этап – при температуре 58 – 65 °С в течение 30 – 120 минут, III этап: при температуре 70 – 75 °С в течение 20 – 120 минут; сепарирование дрожжевого гидролизата; сушку клеточ-

ных стенок дрожжей на распылительной сушилке по следующим режимам: температура входящего в сушильную камеру воздуха 175 — 185 °С, температура выходящего из сушильной камеры воздуха 70 — 80 °С; массовая доля сухих веществ в смеси, поступающей на сушку  $15 \pm 5\%$ ; температура смеси, поступающей на сушку 65 — 85 °С.

По результатам исследований адсорбционной способности клеточных стенок дрожжей установлено, что сухие клеточные стенки гидролизованных дрожжей обладают высокой адсорбционной способностью к высокомолекулярным микотоксинам в дозировке от 0,05 % (охратоксин А, зеараленон, дезоксиваленон) и не адсорбируют низкомолекулярный микотоксин — афлатоксин В<sub>1</sub>.

### Список использованных источников

1. Природные загрязнители кормов. В чем опасность кормовых компонентов с микотоксинами [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.agroinvestor.ru/technologies/article/35569-prirodnye-zagryazniteli-kormov-v-chem-opasnost-kormovykh-komponentov-s-mikotoksinami>. — Дата обращения: 20.05.2022.
2. Кузнецов, А. Ф. Ветеринарная микология / А.Ф. Кузнецов. — СПб.: Издательство «Лань», 2001. — 416 с.
3. Дорофеева, С. Микотоксикозы / С. Дорофеева // Птицеводство. — 2003. — № 6. — С. 24–26.
4. Сурай, П. Как микотоксины работают на молекулярном уровне / П. Сурай // Птицеводство. — 2004. — № 8. — С. 25–26.
5. Ветеринарно-санитарные правила обеспечения безопасности кормов, кормовых добавок и сырья для производства комбикормов», утв. постановлением Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь от 10.02.2011 г. № 10.
6. Кунце, В. Технология солода и пива / В Кунце. — СПб.: Профессия, 2009. — 1064 с.
7. Федоренко, Б. Н. Пивоваренная инженерия: технологическое оборудование отрасли / Б. Н. Федоренко. — СПб.: Профессия, 2009. — 1000 с.
8. Коновалов, С. А. Биохимия бродильных производств / С.А. Коновалов. — М.: Пищевая промышленность, 1967. — 311 с.
9. Sifri, M. A summary of a panel discussion on safety levels for mycotoxins / M. Sifri // The World Mycotoxin Forum the fourth conference, November 6–8, 2006, Cincinnati, Ohio, USA. Abstracts of lectures and posters. — P. 90–91.
10. Егорова, Н. С. Промышленная микробиология: учебное пособие для вузов по спец. «Микробиология» и «Биология» / Н.С. Егорова; под ред. Н.С. Егорова. — М.: Высшая школа, 1989. — 688 с.
11. Блинов, Н. П. Химия микробных полисахаридов: учебное пособие для вузов по спец. «Фармация». «Биология» / Н.П. Блинов. — М.: Высшая школа, 1984. — 256 с.
12. Каледина, Т. С. Роль белков в формировании молекулярной структуры клеточной стенки дрожжей / Т. С. Каледина, К. С. Кулаев // Успехи биологической химии. — 2001. — Т.41. — С. 105–130.
13. Devegowda, G. Influence of modified mannan oligo-saccharides on broilers exposed to individual and combined mycotoxicoses of aflatoxin, ochratoxin and T-2 toxin / G. Devegowda // Abstract No. 229, PSA'99 University of Arkansas, Springdale, August 8–11, 1999. — P. 52.
14. Schatzmayr, W. Mycotoxin deactivating feed additives in animal nutrition / W. Schatzmayr, D. Moll, U. Hofstetter, E. Vekiru, D. Schatzmayr, Y.H. Cheng. — BOKU-Symposium Tiererhaltung, 02 Nov. 2006, Wien. — P. 47–53.
15. Compositions and methods for removal of mycotoxins from animal feed: патент № 6045834 US, 2000
16. Кужаков, В. Препарат для защиты зерна и кормов от плесени и микотоксинов / В. Кужаков, Т. Айдинян // Комбикорма. — 2000. — № 6. — С. 38–39.
17. Зинатуллин, Р. Р. Токсикологическая оценка Т-2 токсина и афлатоксина В<sub>1</sub> при сочетанном их воздействии на организм животных: автореф. дисс. ... канд. биол. наук / Р. Р. Зинатуллин. — Казань, 1999. — 26 с.
18. Оценка адсорбции микотоксинов клеточной стенкой дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* / Р.А. Ахмадышин [и др.] // «Биотехнология: состояние и перспективы развития»: материалы Четвертого Московского межд. конгресса (Москва, 12-16 марта, 2007 г.). — М.: ЗАО «Экспо-биохим-технологии», РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2007. — С. 251.
19. Тугельян, В. А. Природные токсины и проблемы биобезопасности / В.А. Тугельян // Тезисы докладов 2-го съезда токсикологов России. — М.: Российский регистр потенциально опасных химических и биологических веществ Минздрава России, 2003. — С. 32–35.
20. Lyons, T. P. The Feed Industry 2001: Its most Exciting hour / T.P. Lyons // Responding to a Changing Agricultural Landscape. Alltech's European, Middle Eastern and African Lecture Tour 2001. February 5 — March 8, 2001. — P. 1–21.

21. Nutritional biotechnology in the feed and food industries. Abstracts of posters presented / S.I. Viera [et al.], // Proceedings of the 20th Annual Symposium (Suppl.I) May 24-26, 2004, Lexington. Kentucky. USA. — P. 90.
22. ГОСТ 26188-84 Продукты переработки плодов и овощей, консервы мясные и мясорастительные. Метод определения pH [Текст]. — Введ. 1985-07-01. — М.: Госстандарт России: Издательство стандартов, 2010. — 18 с.
23. ГОСТ 31764-2012 Пиво. Метод определения pH. — Введ. 2013-07-01. — М.: Госстандарт России: Издательство стандартов, 2013. — 16 с.
24. ГОСТ 28562-90 Продукты переработки плодов и овощей. Рефрактометрический метод определения растворимых сухих веществ [Текст]. — Введ. 1991-07-01. — М.: Госстандарт России: Издательство стандартов, 2010. — 18 с.
25. ГОСТ 31748-2012 (ISO 16050:2003) Продукты пищевые. Определение афлатоксина В1 и общего содержания афлатоксинов В1, В2, G1 и G2 в зерновых культурах, орехах и продуктах их переработки. Метод высокоэффективной жидкостной хроматографии. — Введ. 2013-07-01. — М.: Госстандарт России: Издательство стандартов, 2013. — 14 с.
26. МУК 4.1.2204-07 Обнаружение, идентификация и количественное определение охратоксина А в продовольственном сырье и пищевых продуктах методом высокоэффективной жидкостной хроматографии: Методические указания. — Введ. 2007-08-01. — М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2007. — 12 с.
27. ГОСТ 31691-2012 Зерно и продукты его переработки, комбикорма. Определение содержания зеараленона методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. — Введ. 2013-07-01. — М.: Госстандарт России: Издательство стандартов, 2013. — 16 с.
28. СТБ ГОСТ Р 51116-2002 Комбикорма, зерно, продукты его переработки. Метод определения содержания дезоксиниваленола (вомитоксина). — Введ. 2003-01-01. — М.: Госстандарт Республики Беларусь: БелГИСС, 2003. — 14 с.
29. Соловьёв, В. В. Ферментативный гидролиз и сепарирование избыточных пивных дрожжей для получения продуктов пищевого и кормового назначения / В. В. Соловьёв, Е. М. Моргунова // Вестник Могилевского государственного университета продовольствия. — 2019. — № 2 (27). — С. 68–78.

#### Информация об авторах

*Соловьёв Виталий Владимирович* — и.о. начальника отдела технологий алкогольной и безалкогольной продукции РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (220037, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Козлова, 29). E-mail: solovyoffg@gmail.com

*Моргунова Елена Михайловна* — кандидат технических наук, доцент, заместитель генерального директора по стандартизации и качеству продуктов питания РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: mti67@rambler.ru

#### Information about authors

*Solovyov Vitaly Vladimirovich* — Acting Head of the Technology Department for Alcoholic and Non-Alcoholic Products RUE «Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus» (29 Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: solovyoffg@gmail.com

*Marhunova Alena Mikhailovna* — PhD (Engineering), Associate Professor, Deputy Director General for Standardization and Food Quality RUE «Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus» (29 Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: mti67@rambler.ru

УДК 637.531.45; 658.567

[https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-2\(56\)-45-55](https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-2(56)-45-55)

Поступила в редакцию 27.04.2022

Received 27.04.2022

**В. Я. Груданов, А. А. Бренч, А. Б. Торган, И. Е. Дацук, С. А. Зеленко,  
В. В. Василевская**

*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
г. Минск, Республика Беларусь*

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ТОНКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МЯСНОГО СЫРЬЯ НА ЭМУЛЬСИТАТОРАХ**

**Аннотация.** Измельчение различных материалов осуществляется различными способами: резанием, раздавливанием, распиливанием, разламыванием, ударом.

В технологическом оборудовании мясокомбинатов измельчение достигается сочетанием нескольких видов механического воздействия. Каждый вид измельчения характеризуется средним размером частиц, при этом применяется крупное, среднее, мелкое, тонкое, сверхтонкое (коллоидный размол) измельчение.

Составлена структурная схема измельчения мяса и мясных продуктов, которая раскрывает сущность происходящих процессов и служит основой для обоснования совершенствования и создания новых рабочих органов машин для более эффективного измельчения мяса. Изложены основные закономерности процесса скользящего резания, построена математическая модель движения мясного сырья в цилиндрических каналах ножевой решетки. Получены аналитические уравнения, позволяющие определить продолжительность измельчения от объема готовой продукции. Разработана математическая модель ножевой решетки эмульсификатора при концентрическом расположении отверстий. Модель позволяет получить одинаковую проходную способность рабочей поверхности решетки в горизонтальной плоскости. В данной модели используются закономерности теории предпочтительных чисел.

**Ключевые слова:** эмульсификатор, ножевая решетка, измельчение, скорость движения, коэффициент скольжения, угол скольжения, дифференциальные уравнения, скорость процесса, числа Фибоначчи, пропускная способность.

**V. Ya. Grudanov, A. A. Brench, A. B. Torgan, I. E. Datsuk, S. A. Zelenko, V. V. Vasilevskaya**

*Educational institution “Belarusian State Agrarian Technical University”, Minsk, Republic of Belarus*

## **THEORETICAL FOUNDATIONS OF IMPROVING THE QUALITY AND EFFICIENCY OF THE PROCESS OF FINE GRINDING OF MEAT RAW MATERIALS ON EMULSIFIERS**

**Abstract.** Grinding of various materials is carried out in various ways: cutting, crushing, sawing, breaking, hitting.

In the technological equipment of meat processing plants, grinding is achieved by a combination of several types of mechanical action. Each type of grinding is characterized by an average particle size, while large, medium, fine, fine, ultrafine (colloidal grinding) grinding is used.

A block diagram of meat and meat products grinding has been compiled, which reveals the essence of the processes taking place and serves as the basis for justifying the improvement and creation of new working bodies of machines for more efficient meat grinding. The basic laws of the sliding cutting process are described, a mathematical model of the movement of meat raw materials in cylindrical channels of the knife grate is constructed. Analytical equations are obtained to determine the duration of grinding from the volume of finished products. A mathematical model of the knife grid of the emulsifier with a concentric arrangement of holes has been developed. The model allows you to get the same throughput capacity of the working surface of the grid in the horizontal plane. This model uses the regularities of the theory of preferred numbers.

**Keywords:** emulsifier, knife grating, grinding, movement speed, sliding coefficient, sliding angle, differential equations, process speed, Fibonacci numbers, throughput.

**Ведение.** В настоящее время на современном крупном мясоперерабатывающем предприятии используется более 400 единиц технологического оборудования и комплексных агрегатов. Основная часть их предназначена для измельчения различного вида сырья: от туш животных до приготовления фаршей. Операции, связанные с измельчением в мясной промышленности, составляют более 70%. Они широко используются при производстве основных видов продукции: колбас, полуфабрикатов, консервов, пищевых животных жиров, а также технической продукции: кормов, клея и др. Измельчение различных материалов, как установлено в настоящее время, осуществляется различными способами: резанием, раздавливанием, распиливанием, разламыванием, истиранием, ударом. Все способы, а чаще всего их комбинации составляют основу процесса дробления.

В технологическом оборудовании мясокомбинатов измельчение достигается сочетанием нескольких видов механического воздействия. Его выбор определяется физико-механическими свойствами измельчаемого материала (прочность, упругость, пластичность, вязкость, мягкость и др.) и желательными характеристиками определенных процессов, особенно важен размер измельчаемого материала. [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7].

По назначению технологическое оборудование предприятий можно разделить на две основные группы:

оборудование для измельчения твердого сырья (костного, мясокостного, блочного мороженого, специй и пряностей) — силовые измельчители, дробилки, волчки-дробилки, измельчители мороженных блоков, костей, специй и пряностей;

оборудование для измельчения мясного сырья (мышечной, жировой и соединительной ткани в размороженном состоянии) — волчки, шпигорезки, куттера, коллоидные мельницы, эмульсаторы.

**Цель работы** — повышение качества и эффективности процесса тонкого измельчения мясного сырья на эмульсаторах.

**Предварительные сведения.** По степени измельчения действующее на мясоперерабатывающих предприятиях оборудование можно разделить на машины для крупного, среднего, мелкого, тонкого и сверхтонкого измельчения. Каждый вид измельчения характеризуется средним размером частиц (табл. 1).

Таблица 1. Вид измельчения и размер частиц мяса  
Table 1. Type of grinding and size of meat particles

Вид измельчения	Средний размер частиц, мм	
	до измельчения	после измельчения
Крупное	До 300	До 100
Среднее	До 200	60-10
Мелкое	200-100	10-2
Тонкое	10-2	2-0,4
Сверхтонкое (коллоидный размол)	10-0,4	$75 \cdot 10^{-3}$ - $1 \cdot 10^{-3}$

Вид измельчения зависит от способов воздействия режущего механизма на исходный материал. В частности, известно, что наиболее пригодным для измельчения мяса оказались резание и распиливание, что реализовано в машинах для крупного измельчения, сочетания резания с раздавливанием, раскалыванием и ударом (машины для среднего и мелкого измельчения), для тонкого и сверхтонкого измельчения характерно воздействие резанием, раздавливанием и истиранием. Соответственно механизмам воздействия разрабатываются и изготавливаются режущие инструменты, которые в своей конструкции должны сочетать конкретные типы воздействий. При этом следует учитывать и то, что мелкое, тонкое и сверхтонкое измельчения характеризуются преимущественно дроблением и конечная цель операции — получение гомогенной массы, обладающей определенными структурно механическими свойствами, отличающимися ее от исходного сырья. [8, 9, 10, 11].

Режимы резания мяса в настоящее время хорошо изучены в трудах Пелеева А.И., Ивашова В.И., Чижиковой Т.В., Клименко М.Н., Ануфриева В. В., Большакова А. С., Пугачева П. И. и многих зарубежных исследователей. Установлено, что усилия резания уменьшаются с увеличением скорости резания. Считается, что при увеличении скорости резания возрастает качество среза, однако при этом отмечается повышение температуры в зоне резания, что может сопровождаться денатурацией белков и снижением биологической ценности продукции. Эффективность измельчения в значительной степени зависит от конструктивных и геометрических параметров инструмента и режимов процесса. От динамических и кинематических характеристик системы машина — режущий инструмент — сырье зависят качество и физико-механические свойства конечной продукции. Общая

схема процесса измельчения мяса и мясных продуктов, учитывающая различные факторы, представлена на рис. 1



Рис. 1. Структурная схема измельчения мяса и мясных продуктов  
Fig. 1. Block diagram of meat and meat products grinding

Данная структурная схема измельчения мяса и мясопродуктов раскрывает сущность происходящих процессов и служит основой для обоснования совершенствования и создания новых рабочих органов машин для более эффективного измельчения мяса [10, 22, 19].

**Основные закономерности процесса скользящего резания.** В зависимости от характера относительного перемещения режущего инструмента и продукта и направления этого перемещения резание принято подразделять на рубящие и скользящие. [14, 15, 16].

В отличие от рубящего резания при скользящем резании для разрезания продукта требуются меньшие уплотнения и усилия, так как перерезание продукта осуществляется отдельными микрорезчиками, причем суммарная длина микрорезчиков, одновременно участвующих в разрезании продукта, всегда меньше длины режущей кромки лезвия.

Поэтому при скользящем резании величина контактных напряжений, необходимая для разрезания продукта, а, следовательно, и требуемое усилие, значительно меньшее, чем при рубящем резании, при этом поверхности среза получаются более гладкими и ровными, а сам продукт подвержен меньшему силовому воздействию со стороны режущего инструмента.

При скользящем резании продукт значительно меньше деформируется, твердые продукты не крошатся и не утрачивают своей ценности, сочные продукты не теряют сока, а их ломтики не разваливаются и не деформируются.

Скорость  $v$  любой точки ножа относительно продукта может быть представлена векторной суммой двух скоростей:

- ♦  $v_n$ , направленной по нормали к режущей кромки лезвия;
- ♦  $v_t$ , направленной по касательной к режущей кромки лезвия.

Абсолютная величина скорости:

$$v = \sqrt{v_n^2 + v_t^2}. \quad (1)$$

Угол  $\beta$ , заключенный между параллелью к режущей кромке и скоростью относительно продукта, называется углом скольжения.

Тангенс угла скольжения называется коэффициентом скольжения  $K_\beta$ , который численно равен отношению касательной скорости  $v_t$  к нормальной  $v_n$ .

$$K_{\beta} = \operatorname{tg}\beta = \frac{v_{\tau}}{v_n} \quad (2)$$

Коэффициент скольжения может принимать числовые значения от нуля до  $\infty$ . При  $K_{\beta} = 0$  имеет место рубящее резание, при  $K_{\beta} = \infty$  режущий инструмент совершает скользящее движение вдоль продукта, не разрезая его. При скользящем резании с увеличением коэффициента скольжения  $K_{\beta}$  величина общего усилия, действующая на инструмент, а также нормальная составляющая этого усилия, от которых в большей степени зависит деформация продукта при резании, уменьшаются, что способствует более качественному измельчению продукта.

$$v_n = \omega r \cos\beta; \quad (3)$$

$$v_{\tau} = \omega r \sin\beta. \quad (4)$$

При использовании вращающегося ножа с прямолинейной режущей кромкой лезвия, расположенной под углом к радиусу (рис. 2), линейная скорость  $v$  произвольной точки  $A$  равна  $v = \omega r$  и направлена перпендикулярно к радиусу. Нормальная  $v_n$  и касательная  $v_{\tau}$  составляющие этой скорости соответственно равны.

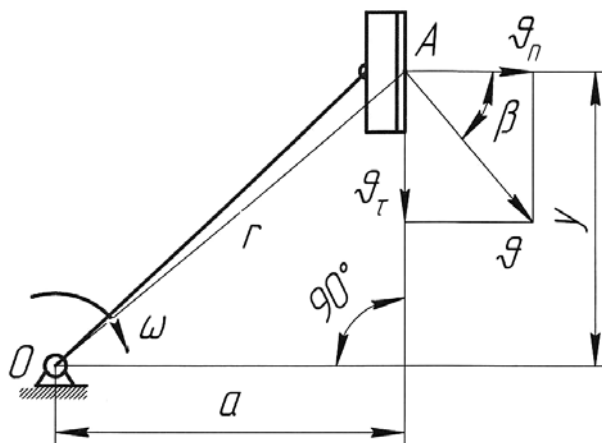


Рис. 2. Схема определения коэффициента скольжения по длине режущей кромки  
 A — произвольная точка;  $v$  — линейная скорость произвольной точки A;  $v_n$  — нормальная составляющая линейной скорости;  $v_{\tau}$  — касательная составляющая линейной скорости;  $\omega$  — угловая скорость вращения ножа;  $\beta$  — угол скольжения; O — ось вращения ножа;  $r$  — радиус вращения точки A

Fig. 2. Scheme of determination of coefficient of friction on length of the cutting edge  
 A — arbitrary point,  $v$  — linear velocity of an arbitrary point A;  $v_n$  — normal component of the linear velocity;  $v_{\tau}$  — tangential component of the linear velocity,  $\omega$  — angular velocity of rotation of the knife;  $\beta$  — angle of slide; O — axis of rotation of the knife;  $r$  — radius of rotation of point A

Из рис. 2. следует:

$$K_{\beta} = \frac{v_{\tau}}{v_n} = \operatorname{tg}\beta = \frac{a}{y}, \quad (5)$$

где  $a$  — наименьшее расстояние от центра вращения до режущей кромки лезвия или ее продолжение;  $y$  — расстояние от рассматриваемой точки A до перемещения режущей кромки с опущенным на нее перпендикуляром из центра вращения.

Расчеты показывают, что при постоянном значении  $a$  коэффициент скольжения  $K_{\beta}$  изменяется по длине лезвия в зависимости от  $y$  по закону гиперболы.

В точке Б ( $y = 0$ ) нормальная составляющая скорости  $v_n = 0$ ,  $K_{\beta} = \infty$ , т.е. резания не будет. При увеличении  $y$   $K_{\beta}$  уменьшается. При  $y = \text{const}$   $K_{\beta}$  возрастает с увеличением  $\alpha$ . Если  $\alpha = 0$ , режущая кромка лезвия совпадает с радиусом,  $K_{\beta} = 0$ , значит осуществляется рубящее лезвие.

Движение сырья в каналах ножевой решетки. Построение математической модели. Постановка задачи. Поток измельчаемого сырья формируется в предножевой зоне, из которой вытекает через отверстия ножевой решетки, при этом отверстия имеют длину  $b$  (она же толщина решетки) и диаметр. Принимаем, что поток сырья при подходе к ножевой решетке установился и его течение мож-



но считать стационарным. Для каждого отверстия (канала) можно записать систему дифференциальных уравнений неизотермического течения сплошной среды, которое моделируется двумерным течением [21].

В этом случае тангенциальная составляющая скорости равна нулю. Так как течение сырья является стационарным, а сплошная среда — аномально вязкой и несжимаемой, то, пренебрегая массовыми силами, которые малы вследствие довольно большой вязкости, дифференциальные уравнения можно представить в цилиндрической системе координат в виде:

- ♦ уравнения несжимаемости

$$(\partial v_z / \partial z) + (v_r / r) - (\partial v_r / \partial r) = 0, \quad (6)$$

- ♦ уравнения движения

$$\rho \left( v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial r} + 2 \frac{\partial}{\partial r} \left( r \eta \frac{\partial v_r}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \eta \left( \frac{\partial v_r}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) \right] - 2 \eta \frac{v_r}{r^2}, \quad (7)$$

$$\rho \left( v_r \frac{\partial v_r}{\partial r} + v_z \frac{\partial v_r}{\partial z} \right) = -\frac{\partial p}{\partial z} + 2 \frac{\partial}{\partial z} \left( \eta \frac{\partial v_z}{\partial z} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[ r \eta \left( \frac{\partial v_r}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial r} \right) \right],$$

- ♦ уравнения энергии

$$\rho c \left( v_z \frac{\partial T}{\partial z} + v_r \frac{\partial T}{\partial r} \right) = \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \lambda \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \Phi, \quad (8)$$

где  $\Phi$  — функция диссипации, характеризующая интенсивность преобразования кинетической энергии в тепловую.

Предполагаем, что измельченное сырье представляет собой сплошную среду — суспензию. Гипотезу сплошности при изучении перемещения продуктов биохимического синтеза в каналах цилиндрической формы успешно применяли как зарубежные, так и отечественные авторы. [12, 18].

При изучении течения сплошной среды широко применяется реологическое уравнение в виде обобщенного степенного закона

$$\eta = \eta_0 e^{-\beta(T-T_0)} \left( \frac{I_2}{2} \right)^{m-1}, \quad (9)$$

где  $\eta_0$ ,  $m$  — константы материала;  $\beta$  — температурный коэффициент вязкости;  $I_2$  — квадратичный тензор скоростей деформаций, определяемый выражением

$$\frac{I_2}{2} = 2 \left[ \left( \frac{\partial v_z}{\partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial v_r}{\partial r} \right)^2 + \left( \frac{v_r}{r} \right)^2 \right] + \left( \frac{\partial v_r}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial r} \right)^2. \quad (10)$$

**Скорость процесса.** Скорость процесса резания пропорциональна движущей силе и обратно пропорциональна гидравлическому сопротивлению режущего механизма, состоящего из вращающегося ножа и перфорированной ножевой решетки.

В общем случае в процессе измельчения и движения сырья через ножевую решетку значения разности давлений и гидравлического сопротивления решетки с течением времени изменяются, поэтому переменную скорость движения сырья целесообразно выразить в дифференциальной форме:

$$V = \frac{dQ}{S \partial \tau}, \quad (11)$$

где  $Q$  — объем измельченного сырья,  $m^3$ ;  $S$  — площадь проходного (живого) сечения ножевой решетки,  $m^2$ ;  $\tau$  — продолжительность измельчения,  $s$ .

Тогда основное дифференциальное уравнение движения будет иметь вид

$$\frac{\partial Q}{S \partial \tau} = \frac{\Delta P}{\mu (R_1 + R_2 + R_3)}, \quad (12)$$

где  $\Delta P$  — разность давлений, Па;  $\mu$  — вязкость измельчаемого сырья, Па·с;  $R_1$  — сопротивление слоя сырья до ножевой решетки;  $R_2$  — сопротивление, создаваемое вращающимся ножом;  $R_3$  — гидравлическое сопротивление ножевой решетки.

Из уравнений (11) и (12) следует, что  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  выражаются в  $\text{м}^{-1}$ . Величины  $R_2$  и  $R_3$  в процессе измельчения можно считать приблизительно постоянными (пренебрегая возможным увеличением  $R_3$  вследствие проникновения в отверстие решетки измельченного сырья). Величина  $R_1$  с возрастанием слоя исходного сырья изменяется от нуля до максимального значения при полной загрузке. [21].

Для интегрирования уравнения (12) необходимо установить зависимость между сопротивлением слоя сырья перед ножевой решеткой  $R_1$  и объемом конечного продукта  $Q$ . Обозначим отношение объема слоя сырья к объему готового продукта через  $X_0$  (см. рис. 3).

Тогда объем слоя сырья перед ножевой решеткой будет равен  $X_0 Q$ . С другой стороны объем слоя исходного сырья можно выразить произведением  $h_0 \cdot F$ , где  $h_0$  — высота слоя сырья в м., равная высоте ножа (см. рис. 3), а  $F$  — общая площадь ножевой решетки,  $\text{м}^2$ .

Следовательно,

$$X_0 Q = h_0 \cdot F$$

$$\text{и } h_0 = X_0 \frac{Q}{F} \text{ или } R_1 = r_0 \cdot h_0 = r_0 X_0 \frac{Q}{F},$$

где  $r_0$  — удельное объемное сопротивление слоя исходного сырья,  $\text{м}^{-2}$ .

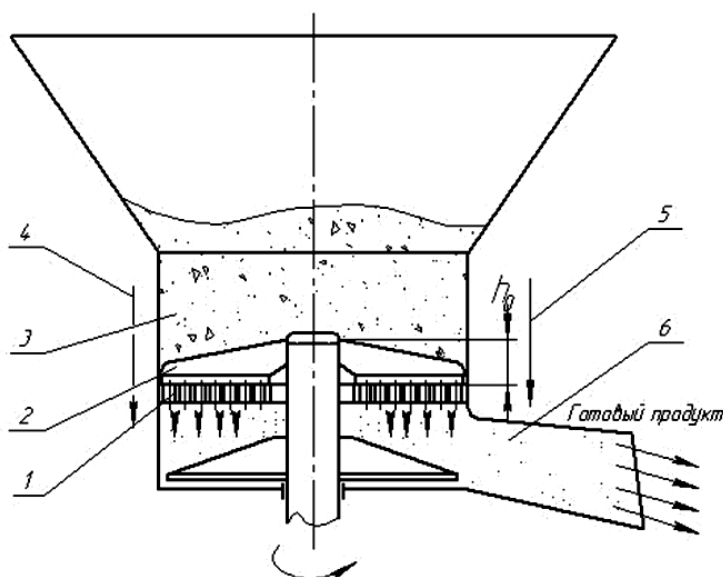


Рис. 3. Схема процесса тонкого измельчения мясного сырья:

1 — ножевая перфорированная решетка; 2 — многозубый вращающийся нож;

3 — мясная суспензия; 4 — направление движения измельчаемого сырья;

5 — направление действия силы тяжести; 6 — готовый тонко измельченный продукт

Fig. 3 Diagram of the process of fine grinding of meat raw materials:

1 — knife perforated grate; 2 — multi-pronged rotating knife; 3 — meat suspension; 4 — direction of

movement of crushed raw materials; 5 — direction of gravity; 6 — finished finely ground product

Тогда

$$\frac{dQ}{Sd\tau} = V = \frac{\Delta P}{\mu \left( r_0 X_0 \frac{Q}{F} + R_2 + R_3 \right)}. \quad (13)$$

При  $\Delta P = \text{const}$  и неизменной температуре для данной конструкции эмульсатора все входящие в уравнение (13) величины, за исключением  $V$  и  $\tau$ , постоянны.

Проинтегрируем это уравнение в пределах от 0 до  $Q$  и от 0 до  $\tau$

$$\int_0^Q \mu (R_1 + R_2 + R_3) dQ = \int_0^\tau \Delta p S d\tau. \quad (14)$$

или

$$\mu(R_1 + R_2 + R_3)Q = \Delta p S \tau. \quad (15)$$

Откуда

$$Q = \frac{\Delta p S \tau}{\mu(R_1 + R_2 + R_3)}. \quad (16)$$

Уравнение (16) показывает непосредственную зависимость продолжительности измельчения от объема готового продукта  $Q$ .

Из уравнения (16) следует, что при  $\Delta p = \text{const}$  по мере увеличения объема готового продукта, а следовательно, и продолжительности процесса, скорость процесса измельчения уменьшается, а с увеличением проходного (живого) сечения  $S$  скорость процесса возрастает. Из уравнения (16) также видно, что с ростом гидравлического сопротивления ножевой решетки  $R_3$  скорость процесса измельчения уменьшается.

Таким образом, совершенствование процесса тонкого измельчения мясного сырья должно проходить по следующим направлениям:

увеличение проходного (живого) сечения ножевой решетки;

уменьшение гидравлического сопротивления ножевых решеток, входящих в комплект режущего механизма эмульсатора;

использование в конструкции режущей пары нож-решетка законов скользящего резания.

Ножевая решетка эмульсатора. Построение математической модели. Решетка эмульсатора (перфорированная пластина) должна иметь одинаковую пропускную способность по всей рабочей поверхности и создавать минимальное гидравлическое (аэродинамическое) сопротивление для мясного сырья.

Для решения этой задачи используем свойства чисел, известных в литературе под названием ряда Фибоначчи: 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21... . Как видно из этого ряда в нем каждое последующее число, начиная с третьего равно сумме двух предыдущих. [13, 16, 17].

В общем виде эта закономерность может быть представлена следующим образом

$$\alpha_{n+1} = \alpha_{n+2} + \alpha_n \text{ при } n \geq 1 \quad (\alpha_1 = 1, \alpha_2 = 1). \quad (17)$$

Уравнение (17) представляет собой разностное уравнение второго порядка. Его общее решение имеет вид

$$\alpha_n = A_{q_1}^{n-1} + B_{q_2}^{n-1}, \quad (18)$$

где  $q_1 = \frac{1+\sqrt{5}}{2}$ ;  $q_2 = \frac{1-\sqrt{5}}{2}$ ;  $A$  и  $B$  — произвольные постоянные.

Так как

$$\alpha_1 = \alpha_2 = 1, \text{ то } A = \frac{1+\sqrt{5}}{2\sqrt{5}} \text{ и } B = \frac{\sqrt{5}-1}{2\sqrt{5}}.$$

Тогда

$$\alpha_n = \frac{1}{\sqrt{5}} \left[ \left( \frac{1+\sqrt{5}}{2} \right)^n - \left( \frac{1-\sqrt{5}}{2} \right)^n \right] \text{ при } n \geq 1. \quad (19)$$

По определению золотого сечения (золотой пропорции) имеем

$$a_n = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{a_{n+1}}{a_n} = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\left( \frac{1+\sqrt{5}}{2} \right)^{n+1} - \left( \frac{1-\sqrt{5}}{2} \right)^{n+1}}{\left( \frac{1+\sqrt{5}}{2} \right)^n - \left( \frac{1-\sqrt{5}}{2} \right)^n} = \frac{1+\sqrt{5}}{2}. \quad (20)$$

Из (20) следует, что отношение двух соседних чисел ряда Фибоначчи в пределе составляет  $\alpha = \frac{1+\sqrt{5}}{2} = 1,6180$ . Легко проверить, что, начиная с пятого члена ряда Фибоначчи это отношение достаточно близко к золотому сечению:  $8/5=1,60000$ ;  $13/8=1,62500$ ;  $21/13=1,61528$ ;  $34/21=1,61904$ .

При этом оценка погрешности имеет вид

$$\frac{a_{n+1}}{a_n} - \alpha \leq \frac{1}{a^n a_n} \tag{21}$$

Из нее вытекает, что отношение  $a_{n+1} / a_n$  монотонно и достаточно быстро сходится к числу  $\alpha$  с ростом  $n$ , так как

$$\frac{1}{a^{n+1} a_{n+1}} < \frac{1}{a^n a_n} \tag{22}$$

Следовательно, с достаточной точностью можно считать, что

$$\alpha \approx \frac{a_{n+1}}{a_n}, \quad n \geq 5. \tag{23}$$

Разобьем рабочую поверхность ножевой решетки (рис. 4) на условные концентрические окружности, радиусы которых определяются по формуле:

$$R_n = (\sqrt{\alpha})^n R_0, \quad n = 1, 2, 3, 4, \dots, \tag{24}$$

где  $R_0$  — радиус центрального посадочного отверстия.

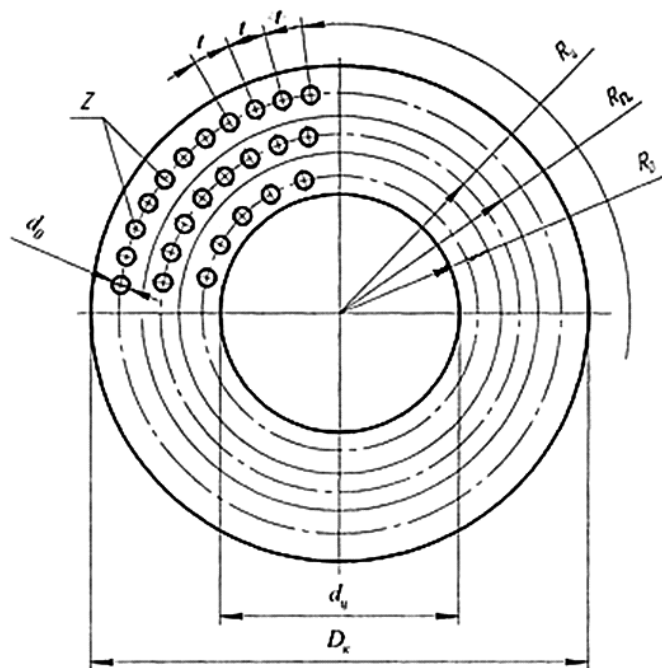


Рис. 4. Схема ножевой решетки эмульсификатора:

$D_k$  — наружный диаметр ножевой решетки;  $d_u$  — диаметр центрального посадочного отверстия;  $R_0$  — радиус центрального посадочного отверстия;  $R_n$  — радиус  $n$ -го условного кольца;  $R_u$  — центральный радиус  $n$ -го условного кольца;  $t$  — шаг между отверстиями;  $d_0$  — диаметр отверстий;  $Z$  — количество отверстий

Fig. 4. Diagram of the knife grid of the emulsifier:

$D_k$  — outer diameter of the knife grate;  $d_u$  — diameter of the central landing hole;  $R_0$  — radius of the central landing hole;  $R_n$  — radius of the  $n$ th conditional ring;  $R_u$  — central radius of the  $n$ th conditional ring;  $t$  — step between the holes;  $d_0$  — diameter of the holes;  $Z$  — number of holes

Отметим, что отверстия в кольцах располагаются на центральных радиусах каждого кольца. При этом предположении нетрудно показать, что пропускная способность любого кольца будет примерно одинаковой, если выбирать количество отверстий в каждом кольце равным соответствующим числу Фибоначчи. Действительно, пропускная способность  $n$ -го кольца с числом отверстий  $z$  равна

$$K_{i,n} = \frac{zf_0}{\pi(R_n^2 - R_{n-1}^2)}, \quad (25)$$

где  $f_0 = \pi r_0^2$  — площадь отверстия.

Соответственно для  $(n+1)$ -го кольца с числом отверстий ( $Z_{n+1}$ ) имеем

$$K_{i+1,n+1} = \frac{Z_{n+1}f_0}{\pi(R_{n+1}^2 - R_n^2)}, \quad (26)$$

По условию  $K_n \approx K_{n+1}$ , следовательно

$$\frac{Z_n f_0}{\pi(R_n^2 - R_{n-1}^2)} : \frac{Z_{n+1} f_0}{\pi(R_{n+1}^2 - R_n^2)} = 1. \quad (27)$$

Отсюда получаем:

$$\frac{a_{n+1}}{a_n} \approx \frac{R_{i+1}^2 - R_i^2}{R_i^2 - R_{i-1}^2} = \frac{Z^{n+1} R_0^2 - Z^n R_0^2}{Z^n R_0^2 - Z^{n-1} R_0^2} = \alpha. \quad (28)$$

Таким образом, чем больше количество отверстий  $Z_n$  в кольцах, тем точнее будет соблюдаться условие  $K_n \approx K_{n+1}$  и, тем самым, будет меньше аэродинамическое (гидравлическое) сопротивление ножевой решетки.

Данная модель справедлива при любом диаметре отверстий и различных их количествах, но значения диаметров отверстий и их число должно быть принято из ряда предпочтительных чисел, т.е. ряда чисел Фибоначчи.

**Заключение.** Изучены основные способы измельчения различных материалов, к которым относятся резание, раздавливание, распиливание, разламывание, истирание, ударом, при этом в технологическом оборудовании мясокombинатов измельчение достигается сочетанием нескольких видов механического воздействия. Его выбор определяется физико-механическими свойствами измельчаемого материала (прочность, упругость, пластичность, вязкость, мягкость и т.п.).

Показаны преимущества скользящего резания перед рубящим. При скользящем резании продукт значительно меньше деформируется, твердые продукты не крошатся и не утрачивают своей ценности, сочные продукты не теряют сока, а их ломтики не разваливаются и не деформируются.

Построена математическая модель движения сырья в каналах ножевой решетки. С учетом ряда допущений дифференциальные уравнения модели представлены в цилиндрической системе координат в виде:

- ♦ уравнения несжимаемости;
- ♦ уравнения движения;
- ♦ уравнения энергии.

Применительно к потоку (течению) сплошной среды записано реологическое уравнение в виде обобщенного степенного закона.

В результате получено уравнение, показывающее непосредственную зависимость продолжительности измельчения от объема готового продукта.

Таким образом установлено, что совершенствование процесса тонкого измельчения мясного сырья должно осуществляться по следующим направлениям:

- ♦ увеличение проходного (живого) сечения ножевой решетки;
- ♦ уменьшение гидравлического сопротивления ножевых решетках, входящих в комплект режущего механизма эмульсатора;
- ♦ использование в конструкции режущей пары нож-решетка законов скользящего резания.

Разработана математическая модель ножевой решетки эмульсатора. При концентрическом расположении отверстий модель позволяет получить одинаковую пропускную способность по всей

рабочей поверхности ножевой решетки в горизонтальной плоскости при минимальном гидравлическом сопротивлении мясного сырья.

Данная модель справедлива при любом диаметре отверстий и различных их количествах, но значение диаметров и их число должно быть принято из ряда предпочтительных чисел.

### Список использованных источников

1. *Адрианов, А. С.* Литые решетки к волчкам с отверстиями малого диаметра / А.С. Адрианов, Г.А. Мартынов. — М.: ЦНИИТЭИмясомолпром, 1980. — С.19–22.
2. *Машины и аппараты пищевых производств: учебник для ВУЗов. Книга 2. Том 2 / С.Т. Антипов, В.Я. Груданов, И.Т. Кретов, А.Н. Остриков, В.А. Панфилов, О.А. Ураков, В.А. Шаршунов; под ред. В.А. Панфилова и В.Я. Груданова* — Минск: БГАТУ, 2008. — 591 с.
3. *Машины и аппараты пищевых производств: учебник для ВУЗов. Книга 3 / С.Т. Антипов, В.Я. Груданов, И.Т. Кретов, А.Н. Остриков, В.А. Панфилов, О.А. Ураков, В.А. Шаршунов; под ред. В.А. Панфилова и В.Я. Груданова* — Минск: БГАТУ, 2008. — 620 с.
4. *Бабиченко, Л. В.* Основы технологии пищевых производств: учебник для мех. фак. торг. вузов / Л.В. Бабиченко. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Экономика, 1983. — 216 с.
5. *Машины и аппараты пищевых производств: учебник для ВУЗов. Книга 1/ С.Т. Антипов, В.Я. Груданов, И.Т. Кретов, А.Н. Остриков, В.А. Панфилов, О.А. Ураков, В.А. Шаршунов; под ред. В.А. Панфилова и В.Я. Груданова*. — Минск: БГАТУ, 2007. — 420 с.
6. *Антипов, С. Т.* Машины и аппараты пищевых производств: учебник для ВУЗов. Книга 2. Том 1 / С.Т. Антипов, В.Я. Груданов, И.Т. Кретов, А.Н. Остриков, В.А. Панфилов, О.А. Ураков, В.А. Шаршунов; под ред. В.А. Панфилова и В.Я. Груданова — Минск: БГАТУ, 2008. — 580 с.
7. *Технологическое оборудование мясокомбинатов / С. А. Бредихин [и др.]*. — М.: Колосс, 1997. — 392 с.
8. *Бренч, А. А.* Разработка новых конструкций ножей для тонкого измельчения мясного сырья / А.А. Бренч, Л.Т. Ткачева, В.И. Никулин // Оборудование и технологии пищевых производств: тем. сб. науч. тр. / Донецк: ДонГУЭТ, 1999. — С. 108–112.
9. *Быстров, С. А.* Новая конструкция ножей для измельчения мяса на волчках / С.А. Быстров, В.А. Степанова // Мясная индустрия СССР. — 1976. — №6. — С. 18–19.
10. *Генин, Э. С.* Основные направления создания оборудования для мясной промышленности / Э.С. Генин // Мясная индустрия СССР. — 1987. — №6. — С. 1–4.
11. *Горбатов, А. В.* Влияние некоторых технологических факторов на реологические свойства колбасного фарша и готовых изделий // А.В. Горбатов, В.Д. Косой, В.В. Елкин // Мясная индустрия СССР. — 1976. — №1. — С. 23–26.
12. *Горбатов, А. В.* Реология мясных и молочных продуктов / А.В. Горбатов. — М.: Пищевая промышленность, 1979. — 384 с.
13. *Груданов, В. Я.* Применение чисел Фибоначчи и Золотой пропорции в конструировании рабочих органов технологического оборудования / В.Я. Груданов, В.И. Иванцов // Тез. докл. 13-ой научно-техн. конференции «Научно-технический прогресс в пищевой промышленности». — Могилев: МТИ, 1993. — С 130.
14. *Груданов, В. Я.* Технологическое оборудование пищевых производств (лабораторный практикум): учебн. пособие / В.Я. Груданов, И.М. Кирик; под. ред. В.Я. Груданова. — Мн.: Изд. Центр БГУ, 2005. — 205 с.
15. *Даурский, А. Н.* Резание пищевых материалов. Теория процесса, машины, интенсификация / А.Н. Даурский, Ю.А. Мачихин. — М.: Пищевая промышленность, 1980. — 240 с.
16. *Иванцов, В. И.* Совершенствование конструкций вращающихся ножей для измельчения продуктов / В.И. Иванцов // Тез. докл. международной научно-техн. конференции «Научно-технический прогресс в пищевой промышленности». — Могилев: МТИ, 1995. — С 64.
17. *Ивашов, В. И.* Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности: учебное пособие: в 2 ч. / В.И. Ивашов. — СПб.: Гиорд, 2007. — Ч. 2: Оборудование для переработки мяса. — 464 с.
18. *Изменение структурно-механических свойств фарша при механической обработке / В.М. Зацерковный [и др.] // Мясная индустрия СССР. — 1982. — №2. — С. 27 — 29.*
19. *Клименко, М. Н.* Оценка качества среза пищевых продуктов / М.Н. Клименко, И.Н. Лебедев // Респ. межвед. науч.-техн. сб., 1983. — Вып. 29: Пищевая промышленность. — С. 25–27.
20. *Кармас, Э.* Технология колбасных изделий / Э. Кармас. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. — 215 с.
21. *Касаткин, А. Г.* Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин. — М.: Химия, 1973. — 762 с.

22. *Косой, В. Д.* Совершенствование производства колбас (теоретические основы, процессы, оборудование, технология, рецептура и контроль качества) / В.Д. Косой, В.П. Дорохов. — М.: ДеЛи принт, 2006. — 766 с.

#### **Информация об авторах**

*Груданов Владимир Яковлевич* — доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологий и технического обеспечения процессов переработки сельскохозяйственной продукции учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» (220124, г. Минск, пр-т Независимости, 99, Республика Беларусь).

*Бренч Андрей Александрович* — кандидат технических наук, доцент кафедры технологий и технического обеспечения процессов переработки сельскохозяйственной продукции учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» (220124, г. Минск, пр-т Независимости, 99, Республика Беларусь). E-mail: abrench@mail.ru

*Торган Анна Борисовна* — кандидат технических наук, доцент кафедры технологий и технического обеспечения процессов переработки сельскохозяйственной продукции учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» (220124, г. Минск, пр-т Независимости, 99, Республика Беларусь). E-mail: anechkatorgan@mail.ru

*Дацук Игорь Евгеньевич* — старший преподаватель кафедры технологий и технического обеспечения процессов переработки сельскохозяйственной продукции учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» (220124, г. Минск, пр-т Независимости, 99, Республика Беларусь). E-mail: Datsukigor@gmail.com

*Зеленко Сергей Анатольевич* — магистр технических наук, старший преподаватель кафедры технологий и технического обеспечения процессов переработки сельскохозяйственной продукции учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» (220124, г. Минск, пр-т Независимости, 99, Республика Беларусь). E-mail: Sergey-zelenko@mail.ru

*Василевская Валентина Владимировна* — старший преподаватель кафедры технологий и технического обеспечения процессов переработки сельскохозяйственной продукции учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» (220124, г. Минск, пр-т Независимости, 99, Республика Беларусь). E-mail: vasilinka-w@mail.ru

#### **Information about the authors**

*Grudanov Vladimir Yakovlevich* — D.Sc. (Engineering), Professor, Professor of the Department of Technology and technical support of the processing of agricultural products, Belarusian State Agrarian Technical University (Nezavisimosti ave. 99, 220124, Minsk, Republic of Belarus).

*Brench Andrey Alexandrovich* — PhD (Engineering), Assistant Professor of the Department of Technology and technical support of the processing of agricultural products, Belarusian State Agrarian Technical University (Nezavisimosti ave. 99, 220124, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: abrench@mail.ru

*Torgan Anna Borisovna* — PhD (Engineering), Assistant Professor of the Department of Technology and technical support of the processing of agricultural products, Belarusian State Agrarian Technical University (Nezavisimosti ave. 99, 220124, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: anechkatorgan@mail.ru

*Datsuk Igor Evgenyevich* — Senior Lecturer of the Department of Technology and technical support of the processing of agricultural products, Belarusian State Agrarian Technical University (Nezavisimosti ave. 99, 220124, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Datsukigor@gmail.com

*Zelenko Sergey Anatolyevich* — Senior Lecturer of the Department of Technology and technical support of the processing of agricultural products, Belarusian State Agrarian Technical University (Nezavisimosti ave. 99, 220124, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Sergey-zelenko@mail.ru

*Vasilevskaya Valentina Vladimirovna* — Senior Lecturer of the Department of Technology and technical support of the processing of agricultural products, Belarusian State Agrarian Technical University (Nezavisimosti ave. 99, 220124, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: vasilinka-w@mail.ru

УДК 663.85+664.87  
[https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-2\(56\)-56-61](https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-2(56)-56-61)

Поступила в редакцию 12.05.2022  
Received 12.02.2022

**А. А. Шепшелев, В. В. Соловьев, В. И. Кулаковская**

*РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»,  
г. Минск, Республика Беларусь*

## **ФЕРМЕНТАТИВНЫЙ ГИДРОЛИЗ БЕЛКОВО-ХМЕЛЕВОГО ОТСТОЯ**

**Аннотация.** В настоящее время в Республике Беларусь особое внимание уделяется проблеме переработки побочных продуктов пищевой промышленности. Отходы пивоваренного и солодовенного производства являются дешевой и широко распространенной кормовой добавкой в сельскохозяйственной промышленности, а их использование дает возможность в определенной степени восполнить дефицит протеина и значительно снизить затраты на единицу продукции.

В данной работе проведены комплексные исследования ферментативного гидролиза белково-хмелевого отстоя и определены оптимальные параметры ведения процесса с целью получения продуктов кормового и пищевого назначения.

**Ключевые слова:** отходы пивоваренного производства, отходы солодовенного производства, ферментные препараты, белково-хмелевой отстой.

**A. A. Shepsheliev, V. V. Soloviev, V. I. Kulakovskaya**

*RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus”, Minsk,  
Republic of Belarus*

## **ENZYMATIC HYDROLYSIS OF PROTEIN-HOP SLUDGE**

**Abstract.** Currently, in the Republic of Belarus, special attention is paid to the problem of processing by-products of the food industry. Waste from brewing and malt production is a cheap and widespread feed additive in the agricultural industry, and their use makes it possible to compensate for protein deficiency to a certain extent and significantly reduce unit costs. In this work, comprehensive studies of the enzymatic hydrolysis of protein-hop sludge have been carried out and optimal parameters of the process have been determined in order to obtain feed and food products.

**Keywords:** brewing production waste, malt production waste, enzyme preparations, protein-hop sludge

Современное состояние пищевой промышленности требует комплексного решения вопросов утилизации отходов при переработке сельскохозяйственной продукции во всех отраслях промышленности. Предприятия пивоваренной и солодовенной промышленности являются источником значительного количества отходов органического происхождения. К отходам пивоваренной и солодовенной промышленности относятся зерновые отходы, солодовые ростки, аспирационные отходы (дробленый солод, шелуха, пыль), промывные воды, белково-хмелевой отстой, остаточные пивные дрожжи, пивная (солодовая) дробина. Указанные отходы являются ценным кормовым продуктом. Это объясняется в первую очередь возможностью использования отходов производства пива и солода в качестве высококалорийных кормовых белково-активных добавок к рациону скота и птицы. [1–2]. Необходимость локальной переработки отходов с выделением и использованием содержащихся в них ценных композитов обуславливается экономической и экологической целесообразностью. Для устранения загрязнения окружающей среды на пивоваренных заводах постоянно ведутся поиски путей уменьшения количества отходов производства, полного устранения их образования или их рационального использования [3].

В настоящее время широкое применение нашло использование пивной дробины и избыточных пивных дрожжей.

Пивную дробину используют в качестве кормовой добавки для производства комбикормов на ее основе, при выпечке мучной продукции диетического назначения, при производстве мясных продуктов и полуфабрикатов, в качестве топливного компонента и удобрения при выращивании культурных растений [4–11]. Сегодня пивная дробина используется как источник углерода для микро-



организмов при производстве амилаз, как сырье для производства биоэтанола, при производстве комплексных пищевых добавок с пробиотическими свойствам [11].

Отпрессованные пивные дрожжи содержат значительное количество витаминов - группы В, РР, Е, D и др. Они значительно богаче витаминами, чем пекарские, в них имеется глутатион, регулирующий процессы окисления и восстановления. Пивные дрожжи с высоким содержанием белка (50–70 % на сухое вещество) оказывают благоприятное действие при введении их в рацион свиней, крупного рогатого скота и птиц [6].

Большое значение имеет использование пивных дрожжей в фармакологии. В качестве лечебных препаратов пивные дрожжи могут быть использованы в жидком, прессованном и сухом виде. Кроме того, их можно использовать как продукт, улучшающий обмен веществ. Очищенные пивные дрожжи могут быть рекомендованы для детского питания. Наибольшая часть пивных дрожжей используется в сыром виде на корм скоту в животноводческих хозяйствах. [4, 12].

В настоящее время исследования в области изучения возможности использования белково-хмелевого отстоя в качестве кормового и пищевого продукта практически отсутствуют.

Белково-хмелевой отстой образуется во время осветления сула в вирпуле, на дно которого оседают скоагулированные высокомолекулярные белки и выделяющиеся белково-дубильные вещества. Белково-хмелевой отстой состоит из воды (до 80 %), белка (7 %), безазотистых веществ, клетчатки, золы. В нем содержатся минеральные вещества и хмелевые смолы. Хмелевые вещества придают белковому отстою горький вкус, что обуславливает невозможность использования его в чистом виде на кормовые цели. Однако этот отход пивоваренного производства может применяться на корм скоту в смеси с другими кормами. Кроме того, белково-хмелевой отстой может быть использован как удобрение, а также как связывающее вещество при выработке гранулированных комбикормов [4, 13, 14].

**Цель** данного исследования — установление возможности использования белково-хмелевого отстоя в качестве продукта кормового и пищевого назначения.

**Методы исследования.** В качестве объекта исследования использовали белково-хмелевой отстой, образующийся в процессе приготовления пивного сула на ОАО «Криница». В ходе работы использовали следующие ферментные препараты протеолитического действия ПротоМакс (производство Республика Беларусь), Brewers Clarex (производство Франция) и Альфааза AFP (производство Россия).

Исследования по органолептическим показателям проведены специалистами отдела технологий алкогольной и безалкогольной продукции РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию». В ходе исследовательских работ применены следующие методы исследований:

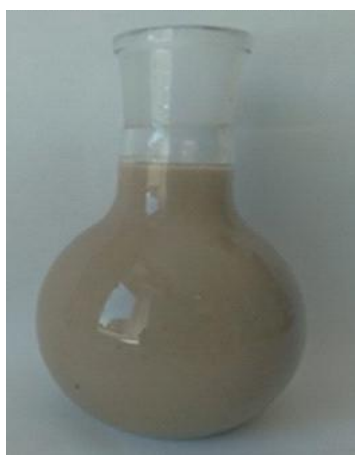
- ♦ массовая доля сухих веществ по ГОСТ 13496.3-92 [15];
- ♦ массовая доля сырого протеина по ГОСТ 13496.4-93 [16];
- ♦ массовая доля клетчатки ГОСТ 13496.2-91 [17];
- ♦ массовая доля сырой золы ГОСТ 26226-95 [18];
- ♦ минеральный состав МУК 4.1.1482-2003 [19];
- ♦ массовая доля аминокислот по МВИ.МН 1363-2000 [20];
- ♦ массовая концентрация фенольных и фурановых соединений по ГОСТ 33407-2015 [21];
- ♦ органолептические показатели по ГОСТ 21055-2019 [22].

**Результаты исследований и их обсуждение.** Проведены исследования по органолептическим и физико-химическим показателям качества исходного белково-хмелевого отстоя. На рис. 1 показан внешний вид исходного белково-хмелевого отстоя.

Белково-хмелевой отстой представляет собой жидкую полидисперсную систему, состоящую из высокомолекулярных белков и белково-дубильных веществ. Результаты исследований по органолептическим и физико-химическим показателям качества представлены в табл. 1, 2.

Таблица 1. Органолептические характеристики исходного белково-хмелевого отстоя  
Table 1. Organoleptic characteristics of the original protein-hop sediment

Наименование показателя	Характеристика показателя
Органолептические характеристики	
Цвет	Кремовый
Консистенция	Густая
Вкус	Горький
Запах	Слабый хмелевой



*Рис. 1.* Внешний вид исходного белково-хмелевого отстоя  
*Fig. 1.* The appearance of the original protein-hop sediment.

Стоит отметить, что белково-хмелевой характеризуется горьким вкусом, в связи с чем в дальнейших исследованиях необходимо проводить предварительное обезгорчивание. На основании анализа органолептических показателей белково-хмелевого отстоя по цвету, консистенции, запаху и вкусу (после проведения предварительного обезгорчивания) можно сделать вывод о возможности использования в кормовой и пищевой промышленности.

**Таблица 2. Физико-химические показатели исходного белково-хмелевого отстоя**  
**Table 2. Physicochemical parameters of the initial protein-hop sediment**

Наименование показателя	Характеристика показателя
Массовая доля сухих веществ, %	3,9
Массовая доля сырого протеина, %	2,76
Массовая доля клетчатки, %	0,1
Массовая доля сырой золы, %	0,2
<b>Минеральный состав, мг/кг</b>	
Массовая доля кальция	258
Массовая доля магния	214
Массовая доля фосфора	718
Массовая доля калия	304
Массовая доля натрия	23
Массовая доля марганца	3,4
Массовая доля железа	11,3
Массовая доля меди	4,7
Массовая доля цинка	5,6
Массовая доля бора	0,21
Массовая доля селена	менее 0,05
<b>Массовая доля аминокислоты, мг/100 г</b>	
Аспарагиновая кислота	2,0
Глутаминовая кислота	7,7
Серин	3,3
Гистидин	2,8
Глицин	5,5
Треонин	2,8
Аргинин	5,9
Аланин	2,0
Тирозин	1,0
Цистин	1,6

Окончание табл. 2

Наименование показателя	Характеристика показателя
Валин	2,9
Метионин	н/о
Фенилаланин	10,7
Изолейцин	2,8
Лейцин	8,2
Лизин	4,2
Сумма аминокислот	63,4

Анализ данных, представленных в табл. 2, позволил отметить, что:

- ♦ массовая доля сухих веществ — 3,9 %. 70,8 % от общего состава сухих веществ составляет сырой протеин, массовая доля которого составляет 2,76 %.
- ♦ в минеральном составе в большом количестве содержится такие элементы как фосфор — 718 мг/кг, калий — 304, кальций — 258 мг/кг, магний — 214 мг/кг и др.;
- ♦ аминокислоты представлены: глутаминовой кислотой в количестве 7,7 мг/100 г, серин — 3,3 мг/100 г, фенилаланин — 10,7 мг/100 г и др.

Так как белково-хмелевой отстой имеет горький вкус, что затрудняет его использование в кормовой и пищевой промышленности, проводили процесс обезгорчивания. Обезгорчивание осуществляли с помощью внесения раствора бикарбоната натрия. Для этого суспензию белково-хмелевого отстоя обрабатывали 0,2 % раствором бикарбоната натрия в течение 30 минут при постоянном перемешивании. По истечении времени белково-хмелевой отстой промывали от раствора бикарбоната натрия. С целью максимального накопления аминного азота в густой и жидкой фазе белково-хмелевого отстоя был проведен процесс ферментативного гидролиза.

Выбор ферментных препаратов был обусловлен наличием в белково-хмелевом отстое значительного количества высокомолекулярных белковых соединений. Процесс гидролиза с использованием ферментных препаратов ПротоМакс и Brewers Clarex проводили при pH = 5,5 — 5,6, t = 55,0 — 56,0 °C, τ = 90 мин, Альфаказы AFP при pH = 4,0 — 4,1, t = 50,0 — 51,0 °C, τ = 90 мин. Все ферментные препараты исследовали в заданных параметрах при различных концентрациях. Белково-хмелевой отстой, подвергнутый процессу ферментативного гидролиза, представляет собой полидисперсную систему, состоящую из мелкодисперсных частиц и коллоидных веществ (густая фаза — рис. 2) и жидкости светло-желтого оттенка (жидкая фаза — рис. 3).



Рис. 2. Густая фаза

белково-хмелевого отстоя

Fig. 2. Thick phase of protein-hop sediment



Рис. 3. Жидкая фаза

белково-хмелевого отстоя

Fig. 3. Liquid phase of protein-hop sediment

На следующем этапе исследований была изучена жидкая фаза прогидролизованного белково-хмелевого отстоя. Так как белково-хмелевой отстой рассматривается в качестве источника аминокислот для производства продуктов кормового и пищевого назначения, изучено содержание аминокислот, входящих в состав жидкой фазы белково-хмелевого отстоя. Результаты исследований по аминокислотному составу, представлены на рис. 4.

Анализ рис 4. показал, что при использовании ферментного препарата Brewers Clarex массовая концентрация аспарагиновой кислоты, глутаминовой кислоты, серина, гистидина, глицина и др. превышает значения массовых концентрации вышеуказанных аминокислот с использованием ферментных препаратов ПротоМакс и Альфаказа.

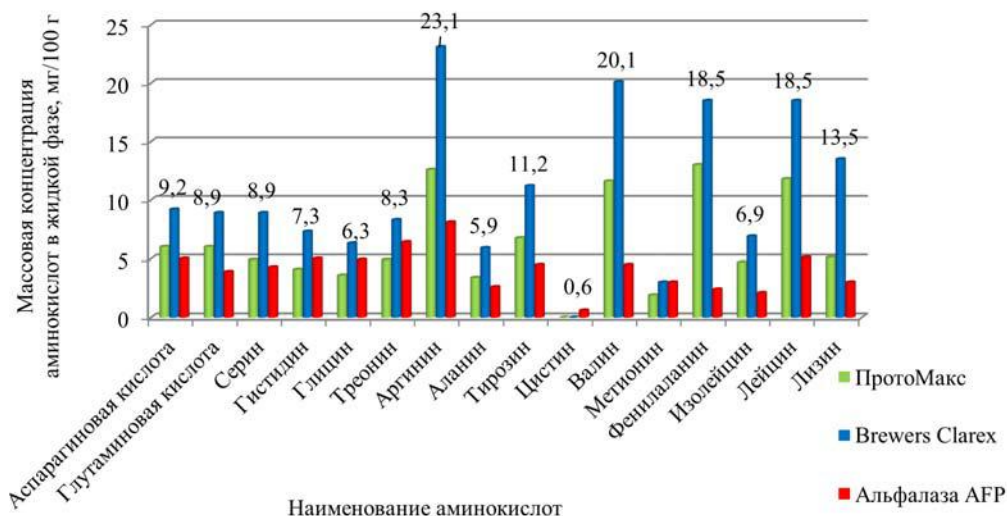


Рис. 4. Массовая концентрация аминокислот в жидкой фазе белково-хмелевого отстоя  
 Fig. 4. Mass concentration of amino acids in the liquid phase of protein-hop sediment

**Заключение.** В результате проведенных исследований по применению ферментативных препаратов для гидролиза протеинов белково-хмелевого отстоя установлены следующие оптимальные технологические параметры: температура — 50 °С, время — 90 мин, рН = 5,5, Использование препарата Brewers Clarex для ферментативного гидролиза белково-хмелевого отстоя позволяет провести наиболее полное гидролитическое расщепление белков до аминокислот, в том числе незаменимых (массовая доля аминокислот с применение ФП Brewers Clarex в 1,7 раза больше по сравнению с ФП ПротоМакс в дозировке 0,67 мг/л и 2,6 раза больше по сравнению с ФП Альфафаза AFP в дозировке 0,3 мл/л).

#### Список использованных источников

1. *Большаков, В. Н.* Микробиологический способ консервирования пивной дробины: автореф. дис. ...канд. с/х наук : 06.02.02; В.Н. Большакова / Санкт Петербург, 2009 г. — 21 с.
2. *Лазаревич, А. Н.* Кормопроизводство, кормление сельскохозяйственных животных и технология кормов: автореф. дис. ...канд. с/х наук: 06.02.08 / А.Н. Лазаревич; Красноярск, 2012 г. — 16 с.
3. *Батищева, Н. В.* Инновационные способы утилизации пивной дробины Материалы международной научно-практической конференции, посвященная 80-летию со дня рождения профессора Рыбалко А.Г. / Н.В. Батищева. — Саратов, 2016. — С. 3–7.
4. Методы утилизации пивной дробины [Электронный ресурс] — Москва, 2005. — Режим доступа : <http://cbio.ru/page/45/id/1303>. — Дата доступа : 12.03.2021.
5. *Кунце, В.* Технология солода и пива [Текст]: пер. с нем. / В Кунце. — СПб.: Профессия, 2009. — 1064 с.
6. *Руденко, Е. Ю.* Современные тенденции переработки основных побочных продуктов пивоварения / Е. Ю. Руденко // Пиво и напитки. —2007.— № 2. — С. 66–68.
7. *Минзанова, С. Т.* Получение ксилитозы из пивной дробины / С.Т. Минзанова [и др.] // Тезисы докладов Всероссийской научной конференции «Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства» (Краснодар, 18– 19 марта 2009 года). — Краснодар, 2009. — С. 161.
8. Стимулирующее влияние фитомассы амаранта на биометаногенез в трудноферментируемых субстратах / А.З. Миндубаев [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. — 2009. № 4. — С. 220–226.
9. *Пономарев, В. Я.* Использование вторичного растительного сырья в технологии мясных продуктов / В.Я. Пономарев, Э. Ш. Юнусов, Г.О. Ежкова // Вестник Казанского технологического университета. — 2011. — № 18. — С. 156 – 158.
10. Практические аспекты использования нативной пивной дробины при производстве мясопродуктов / В.Я. Пономарев [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. — 2014. — Т.17, № 18. — С. 177–179.

11. Технология получения многофункциональных кормовых добавок на основе биоконверсии целлюлозосодержащего сырья: Материалы международной научно-практической конференции, Саратов, 2013 г. / Саратов Издательство «КУБиК», 2013. — 286 с.
12. Способ приготовления корма для сельскохозяйственных животных: пат. RU2075298C1 / В. Ф. Фомичев, А. И. Шевчук, А. С. Егорова, С.Г. Кузнецов, В.В. Базик. — Оpubл. 20.03.1997.
13. Кормовая добавка для крупного рогатого скота: а.с. № 1389743 — 1987 / Б. Л. Герасимов, Б. Х. Галиев, В. Д. Прибылов, Я. В. Прис. — Оpubл. 26.12.1985.
14. Белковый отстой — средство для повышения питательной ценности пищевых продуктов / А.П. Колпакчи [и др.] // Ферментная и спиртовая промышленность. — 1976. — № 8. — С. 20–22.
15. Комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения влаги: ГОСТ 13496.3-92. — Введ. 01.01.93. — Москва: Стандартинформ, 2011. — 38 с.
16. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения содержания азота и сырого протеина: ГОСТ 13496.4-93. — Введ. 01.01.96. — Минск: Госстандарт, 2010. — 15 с.
17. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Метод определения сырой клетчатки : ГОСТ 13496.2-91. — Введ. 01.07.92. — Минск: Госстандарт, 2010. — 6 с.
18. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения сырой золы : ГОСТ 26226-95. — Введ. 01.07.97. — Минск: Госстандарт, 2017. — 5 с.
19. Определение содержания химических элементов в диагностируемых биосубстратах, поливитаминных препаратах с микроэлементами, в биологически активных добавках к пище в сырье для их изготовления методом атомной эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной аргонной плазмой: МУК 4.1.1482-03. — Введ. 30.06.2003. — Москва. — 7 с.
20. Метод определения аминокислот в продуктах питания с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии: МВИ.МН 1363-2000. — Введ.: 14.07.2000. — Минск: ГП «Центр эталонов, стандартизации и метрологии», 2000. — 24 с.
21. Коньяки, дистилляты коньячные, бренди. Определение содержания фенольных и фурановых соединений методом высокоэффективной жидкостной хроматографии : ГОСТ 33407-2015. — Введ.: 01.08.2016. — Минск: Госстандарт, 2016. — 12 с.
22. Комбикорма полнорационные. Технические условия : ГОСТ 21055- 2019. — Введ. 01.01.10.2020. — Минск: Госстандарт, 2020. — 12 с.

#### Информация об авторах

*Шепшелев Александр Анатольевич* — кандидат технических наук, заместитель генерального директора по научной работе РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 22037, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: ashepshelev@tut.by

*Соловьев Виталий Владимирович* — и.о. начальника отдела технологий алкогольной и безалкогольной продукции РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 22037, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: solovyov@belproduct.com

*Кулаковская Виктория Игоревна* — аспирант, младший научный сотрудник отдела технологий алкогольной и безалкогольной продукции РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 22037, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: kvv88@mail.ru

#### Information about the authors

*Shepshelev Alexander Anatolevich* — PhD (Engineering), Deputy General Director for Research of RUE “Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (Kozlova str., 29, 22037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ashepshelev@tut.by

*Solovyov Vitaly Vladimirovich* — Acting Head of the Department of Technologies of alcoholic and non-alcoholic products of RUE “Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (Kozlova str., 29, 22037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: solovyov@belproduct.com

*Kulakovskaya Victoria Igorevna* — post-graduate student, junior researcher of the Department of Technologies of Alcoholic and non-alcoholic products of RUE «Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus» (Kozlova str., 29, 22037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kvv88@mail.ru

УДК 664.126  
[https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-2\(56\)-62-67](https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-2(56)-62-67)

Поступила в редакцию 14.04.2022  
Received 14.04.2022

М. Р. Яковлева<sup>1</sup>, О. В. Дымар<sup>2</sup>, О. К. Никулина<sup>1</sup>, О. В. Колоскова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»,  
г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup> Представительство АО «МЕГА» в Республике Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь

## ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИОННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭЛЕКТРОМЕМБРАННОЙ ДЕМИНЕРАЛИЗАЦИИ САХАРНОГО СИРОПА

**Аннотация.** В статье представлены результаты изучения явления концентрационной поляризации. Проанализированы рабочие (технологические) параметры протекания процессов электродиализа и электродеионизации при различных прилагаемых напряжениях. Сделан вывод о влиянии концентрационной поляризации на эффективность протекания процесса электромембранной деминерализации сахарного сиропа.

**Ключевые слова:** электродиализ, электродеионизация, деминерализация, сахарный сироп, концентрационная поляризация, реверсификация, фулинг-слой.

M. R. Yakovleva<sup>1</sup>, O. V. Dymar<sup>2</sup>, O. K. Nikulina<sup>1</sup>, O. V. Koloskova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus”,  
Minsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup> Representative of MEGA a.s. in Republic of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

## IMPACT OF CONCENTRATION POLARIZATION ON THE EFFICIENCY OF ELECTROMEMBRANE DEMINERALIZATION OF SUGAR SYRUP

**Abstract.** The article presents the results of investigation the phenomenon of concentration polarization. The technological parameters of electro dialysis and electrodeionization processes at various applied voltages are presented. The results about the influence of concentration polarization on the efficiency of the electromembrane demineralization process of sugar syrup were concluded.

**Keywords:** electro dialysis, electrodeionization, demineralization, sugar syrup, concentration polarization, reversification, fulling layer.

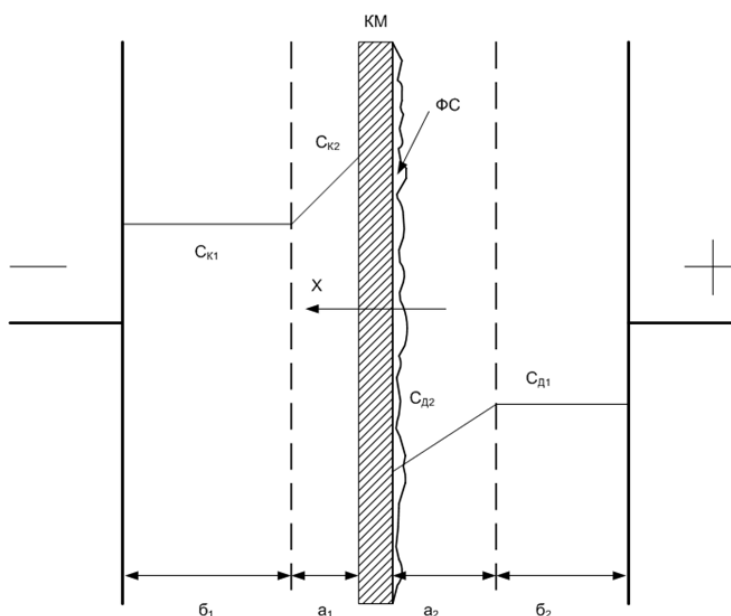
**Введение.** Обработка сахарного сиропа на электромембранной установке позволяет удалить заряженные зольные элементы и тем самым снизить потери сахарозы в процессе переработки сахарной свеклы. Регулируя рабочее напряжение, подаваемое на электромембранную установку, можно достигнуть требуемых физико-химических показателей деминерализованного сиропа и рабочих параметров процесса. С технологической точки зрения, важными параметрами процесса деминерализации являются степень деминерализации дилуата, изменение рН, длительность процесса и потребление электроэнергии. В работе проводили исследования влияния прилагаемого напряжения и явления концентрационной поляризации на степень деминерализации дилуата и длительность процесса.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Одной из причин, ограничивающих практическое применение электромембранных аппаратов, является концентрационная поляризация на мембранах — явление формирования концентрационных профилей на поверхностях раздела фаз ионоселективная мембрана — раствор при протекании электрического тока [1 — 4].

В камере электромембранного аппарата поток дилуата и концентрата идет вдоль мембран, а скорость движения в направлении от центра русла потока к поверхности мембран снижается [5]. Для обеспечения механических требований мембраны разделены прокладками (спейсерами), обеспечивающими турбулизацию потока внутри камер. Спейсеры имеют сетчатую структуру, которая усложняет линии обтекания и тем самым турбулизуют поток, что приводит к более активному переме-

шиванию раствора в центральной части потока и незначительному у поверхностей мембран. У самой поверхности существует неподвижный концентрационный (диффузионный) слой раствора [5, 6].

На рис. 1 графически отражен принцип концентрационной поляризации на примере переноса катионов через катионообменную мембрану.



КМ — катионообменная мембрана; а — концентрационный слой; б — область потока с постоянной концентрацией; х — поток катионов через мембрану;  $C_{к1}$  — концентрация катионов вне пограничного слоя в концентрате солей;  $C_{к2}$  — концентрация катионов в пограничном слое в концентрате солей;  $C_{д1}$  — концентрация катионов вне пограничного слоя в дилуате;  $C_{д2}$  — концентрация катионов в пограничном слое в дилуате; ФС — фулинг-слой

Рис. 1. Схема концентрационной поляризации вблизи катионообменной мембраны

Fig. 1. Scheme of concentration polarization beside the cation - exchange membrane

В поле электрического тока, в условиях идеальной селективности ионообменной мембраны, ионы раствора оказываются под влиянием двух противоположно направленных сил: диффузионной и электрической. Диффузионная сила связана с положительно направленным градиентом концентрации, а электрическая вызвана градиентом потенциала обратного направления [7].

Явление концентрационной поляризации возникает за счет различия чисел переноса, характеризующих скорости миграции ионов в растворе и через мембрану [1, 5, 8]. Вследствие того, что числа переноса ионов в мембране гораздо выше, движение ионов через мембрану идет быстрее, чем в растворе. При этом количества ионов, переносимых под действием разности потенциалов в растворе к поверхности мембраны, недостаточно для восполнения числа ионов, удаленных от этой поверхности [1 — 4, 8].

За счет этого, концентрация ионов у поверхности мембраны со стороны камеры дилуата резко снижается, а с другой стороны мембраны у поверхности создается повышенная концентрация ионов из-за недостаточно быстрого переноса ионов электрическим током в растворе [1 — 6, 8].

Несоответствие скоростей приводит к появлению диффузионных потоков ионов из объема раствора, восполняющих нехватку ионов с одной стороны и удаляющих их избыток с другой [1, 5].

В системе наступает стационарное состояние, когда в растворе со стороны катода и со стороны анода устанавливаются такие градиенты концентраций, при которых суммарный поток ионов в растворе за счет диффузии и за счет разности потенциалов равен потоку катионов через мембрану [2, 5, 6].

При дальнейшем повышении плотности тока в ячейке концентрация ионов у поверхности раздела раствор — мембрана со стороны дилуата стремится к нулю. Появление слоя почти деионизованной воды в граничном слое приводит к существенному увеличению электрического сопротивления мембраны [5, 6].

Как известно, вода диссоциирует на катионы водорода и гидроксил — ионы :



При предельной плотности тока начинается перенос  $H^+$  и  $OH^-$  ионов, образующихся при диссоциации и электролизе воды, что нежелательно, так как вызывает дополнительный расход энергии, изменение pH и практически не снижает солесодержание раствора [2, 3, 5, 6, 8, 9].

Таким образом, увеличение тока сверх предельного значения приводит к ограничению производительности (т.е. снижению эффективности деминерализации) электродиализного аппарата [3, 5].

Аналогичным образом может быть рассмотрен и транспорт анионов через анионообменную мембрану. Различие заключается лишь в том, что подвижность анионов несколько больше подвижности катионов, поэтому при одинаковых гидродинамических условиях предельная плотность тока раньше достигается на катионообменных мембранах [6].

Для уменьшения эффекта концентрационной поляризации необходимо поддерживать минимальную толщину пограничного слоя путем подбора гидродинамических условий в аппарате, а также ограничивать максимальную плотность тока при работе на электромембранной установке [5, 6, 8].

В работе проводили исследование и сравнение двух процессов — электродиализа (ЭД) и электродеионизации (ЭДИ) при различном прилагаемом напряжении: 10 В, 20 В, 30 В.

Стоит отметить, что влияние концентрационной поляризации гораздо ниже при проведении деминерализации на ЭДИ модуле, что можно объяснить отличием в конструкции ячеек. В модуле ЭДИ камеры дилуата, в которых происходит процесс деминерализации, заполнены ионообменной смолой смешанного действия (смесь катионита и анионита). При этом механизм переноса ионов становится двухступенчатым процессом. Сначала ионы транспортируются к ионообменной смоле за счет диффузии, а затем через слой ионообменной смолы к мембране под действием электрического тока [5].

При наложении на ЭДИ ячейку избыточного электрического тока процесс разложения воды протекает в местах, где гранулы ионообменных смол соприкасаются как друг с другом, так и с мембранами, т.е. ионообменные смолы непрерывно восстанавливаются, а ионы водорода и гидроксила, не вступившие в реакцию обмена со смолами, транспортируются к потоку концентрата наряду с растворенными солями, где происходит их рекомбинация в воду [5].

При эксплуатации ЭДИ ячеек эффективность использования потребляемой мощности, направляемой непосредственно на процесс обессоливания, низка (10 — 20 % от мощности протекающего электрического тока). Остальная часть используется на разложение воды. Именно со столь малой эффективностью использования потребляемой мощности для ЭДИ ячеек связано то обстоятельство, что ЭДИ процесс становится действительно практичным только для исходной воды, общее солесодержание которой не превышает значения 100 мг/л [5].

Еще одним важным фактором, влияющим на эффективность электромембранных процессов, является образование осадка органического происхождения (т.н. фулинг — слоя) на ионообменных мембранах. На рис. 1 отражает процесс переноса ионов при идеальных условиях, без образования отложений на мембранах. В реальности же, особенно при обработке пищевого сырья, кроме установившегося слоя и диффузионного пограничного существует фулинг-слой с принимающей стороны мембраны.

Как видно из рис. 1, наличие органических и неорганических отложений на поверхности мембраны (фулинг-слой) приводит к увеличению концентрационного слоя с принимающей стороны ( $a_2 > a_1$ ), что, в свою очередь, усиливает явление концентрационной поляризации.

Для снижения влияния органических отложений на поверхности мембраны на скорость и способность к переносу ионов, производят периодическую мойку электромембранного оборудования и реверсификацию потоков в модуле. При реверсификации происходит смена полярностей электродов, подающих напряжение на модуль, а также изменение направления потоков дилуата и концентрата, при котором они меняются местами. При этом происходит самоочищение мембран от органического слоя загрязнений за счет изменения направления переноса ионов.

Влияние концентрационной поляризации обнаружено при проведении экспериментов по оценке влияния рабочего напряжения на эффективность деминерализации сахарного сиропа с применением различных электромембранных технологий. Для этого проводили ряд испытаний по обработке очищенного сиропа, разбавленного до содержания сухих веществ ( $30 \pm 2$ ) % на модулях электродиализа и электродеионизации.

Как указывалось ранее, для определения влияния рабочего напряжения на каждом модуле проводили эксперименты при трех прилагаемых напряжениях: 10 В, 20 В, 30 В. По начальным и конечным показателям удельной электропроводимости дилуата рассчитывали степень деминерализации сиропа по формуле:

$$D = \frac{\Pi_{d1} - \Pi_{d2}}{\Pi_{d1}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $\Pi_{d1}$  — удельная электропроводимость дилуата начальная, мСм/см;  $\Pi_{d2}$  — удельная электропроводимость дилуата конечная, мСм/см.

Расчетные степени деминерализации для каждого процесса представлены в виде диаграммы (рис. 2).



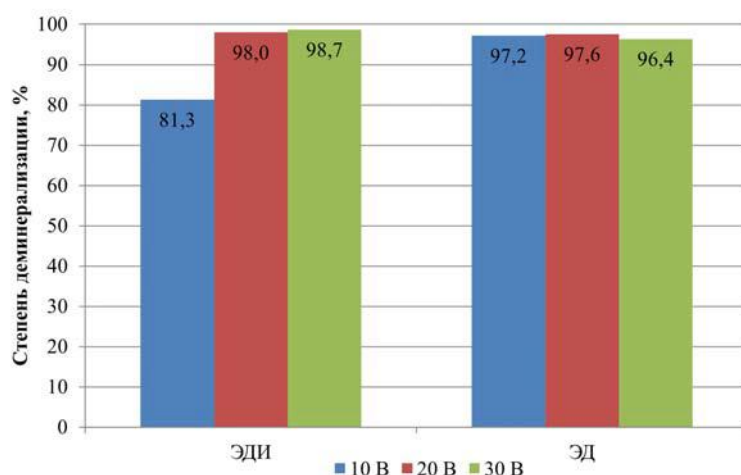


Рис. 2. Степень деминерализации сиропа на различных модулях при различном рабочем напряжении  
 Fig. 2. The desalination degree of demineralized syrup carried out on different modules at various operating voltage

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что при рабочем напряжении 20 В и 30 В процесс удаления заряженных частиц идет эффективнее с применением процесса электродеионизации, о чем свидетельствует различие в степени деминерализации дилуата (степень деминерализации ЭДИ при 30 В больше на 2,3%, при 20 В — на 0,4 %). При рабочем напряжении 10 В (1 вольт на мембранную пару) проведение электродеионизации сахарного сиропа характеризуется низкой эффективностью и наиболее низкой степенью деминерализации дилуата.

Снижением эффективности процесса за счет концентрационной поляризации можно объяснить результаты проведения электродеионизации при рабочих напряжениях 20 В и 30 В: повышение напряжения привело к снижению степени деминерализации на 1,23%. При проведении процесса ЭДИ такой закономерности не наблюдалось.

Важным параметром процесса электромембранной деминерализации полупродуктов сахарного производства является его длительность. Изменение длительности процесса и динамика деминерализации дилуата в зависимости от применяемого процесса и рабочего напряжения представлено на графиках (рис. 3, 4). Также на графиках указаны начальные и конечные показатели удельной электропроводности дилуата.

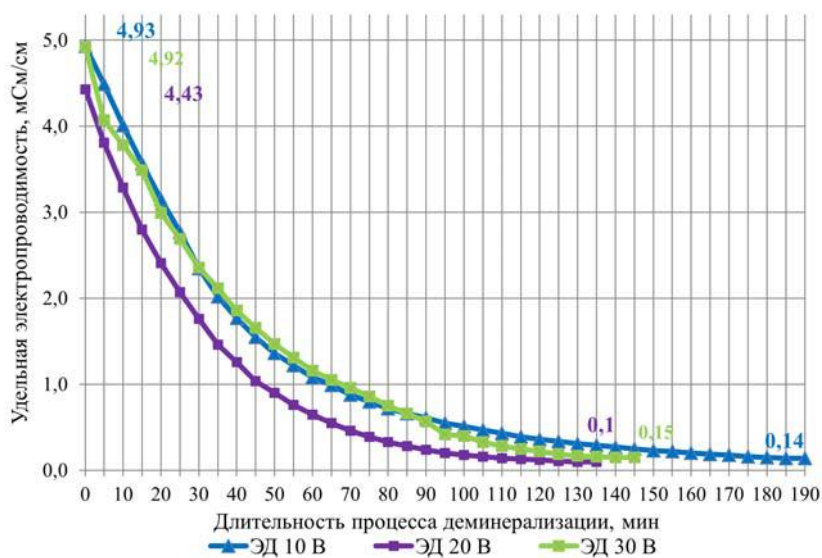


Рис. 3. Зависимость проводимости дилуата от длительности процесса ЭД при различном рабочем напряжении  
 Fig. 3. Dependence of the conductivity of diluate on the duration of the electrodesionization process at different operating voltages

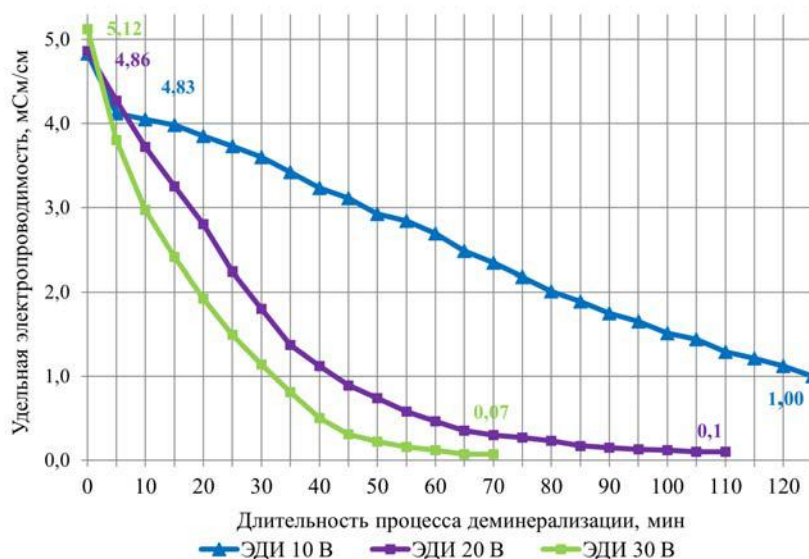


Рис. 4. Зависимость проводимости дилута от длительности процесса ЭДИ при различном рабочем напряжении

Fig. 4. Dependence of the conductivity of diluate on the duration of the electrodeionization process at different operating voltages

Сравнение графиков на рис. 3 и 4 показало, что наибольшая длительность процесса соответствует деминерализации на модуле электродиализа при рабочем напряжении 10 В.

Увеличение рабочего напряжения приводит к интенсификации процессов, снижению показателя электропроводимости в конечной точке и длительности обработки (при условии работы с показателями плотности тока ниже предельного значения, т.е. без влияния концентрационной поляризации).

Сравнение процесса электродиализа при рабочем напряжении 20 В и 30 В показало, что концентрационная поляризация влияет на длительность процесса деминерализации сахарного сиропа. Ведение процесса при максимальном напряжении привело к увеличению длительности процесса на 10 минут.

Анализ динамики двух процессов показал, что деминерализация при помощи электродеионизации протекает быстрее при каждом из трех рабочих напряжений.

**Закключение.** В статье представлен анализ результатов экспериментов деминерализации разбавленного сахарного сиропа на модулях электродиализа и электродеионизации при различном прикладываемом напряжении. Полученные данные позволили сделать вывод об эффективности протекания процесса электромембранной деминерализации: повышение рабочего напряжения приводит к повышению степени деминерализации сахарного сиропа и снижению длительности процесса, при условии работы с показателями плотности тока ниже предельного значения.

Изучены причины и принцип явления концентрационной поляризации, рассмотрены способы снижения влияния описанного явления на эффективность электромембранных процессов. Установлено, что обработка сахарного сиропа при помощи электродиализа при напряжении 30 В приводит к снижению степени деминерализации на 1,23 % и увеличивает длительность процесса на 10 минут. При проведении процесса электродеионизации такой закономерности не наблюдалось.

Таким образом, правильный подбор рабочих параметров позволит достичь требуемых показателей деминерализованного продукта и максимальной эффективности процесса.

#### Список использованных источников

1. Ушаков, Л. Д. Построение и анализ теоретической поляризационной (вольтамперной) характеристики электродиализного аппарата / Л. Д. Ушаков // Ионнообменные мембраны в электродиализе: сб. ст. / НПЦ НИИМП; под ред. проф. К.М. Салдадзе. — Л.: Химия, 1970. — С. 194-204.
2. Ионнообменные мембраны в электродиализе: сб. ст. / НПЦ НИИМП; под ред. проф. К.М. Салдадзе. — Л.: Химия, 1970. — 287 с.
3. Мулдер, М. Введение в мембранную технологию / М. Мулдер. — М.: Мир, 1999. — 513 с.
4. Сидорова, М. П. Мембранные потенциалы и концентрационная поляризация. / М.П. Сидорова // Электроповерхностные явления в дисперсных системах. — М.: Наука, 1972 — С. 75–80.

5. *Черкасов, С. В.* Электродеионизация воды. Теория и практика применения. Аспекты экологии и экономики [Электронный ресурс] / *С. В. Черкасов.* — Режим доступа: <https://wwtec.ru/index.php?id=232>. — Дата доступа: 23.03.2022.
6. Новый справочник химика и технолога: процессы и аппараты химических технологий / ред. Г. М. Островский. — СПб.: Професионал, 2004 — Ч. 2. — 2006. — 916 с.
7. *Алексеева, Н. В.* Вклад ионов диссоциации воды в перенос тока при электродиализе в условиях запредельного режима / *Н. В. Алексеева [и др.]* // Вестник ТГТУ. — 2002. — Том 8, № 2. — С. 246–252.
8. Водоподготовка в энергетике: учеб. пособие для вузов / *А. С. Копылов, В. М. Лавыгин, В. Ф. Очков* / изд. 2-е. — М.: Издательский дом МЭИ, 2006. — 309 с.
9. *Мазитова, Л. А.* Технологические процессы с применением мембран / *Л. А. Мазитова, Т. М. Мнацаканян.* — М.: Мир, 1976. — 372 с.

#### Информация об авторах

*Яковлева Мария Романовна* — магистр технических наук, инженер-технолог II категории РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: [sugar@belpoduct.com](mailto:sugar@belpoduct.com)

*Дымар Олег Викторович* — доктор технических наук, профессор, технический директор представительства АО «МЕГА» в Республике Беларусь (ул. Мележа, д. 5/2, пом. 1201, 220113, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: [dymarov@tut.by](mailto:dymarov@tut.by)

*Никулина Оксана Константиновна* — кандидат технических наук, заведующий научно-исследовательской лабораторией сахарного производства РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: [sugar@belpoduct.com](mailto:sugar@belpoduct.com)

*Колоскова Ольга Владимировна* — кандидат технических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории сахарного производства РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: [sugar@belpoduct.com](mailto:sugar@belpoduct.com)

#### Information about authors

*Yakovleva Maryia Romanovna* — Master of technical science, Process Engineer of RUE “Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29 Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [sugar@belpoduct.com](mailto:sugar@belpoduct.com)

*Dymar Oleg Viktorovich* — Doctor of technical sciences, Professor, Technical director of the representative office of MEGA a.s. in the Republic of Belarus (Melezha str., 5/2, room 1201, 220113, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [dymarov@tut.by](mailto:dymarov@tut.by)

*Nikulina Oksana Konstantinovna* — PhD (Engineering), Head of the Research laboratory of sugar production of RUE “Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29 Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [sugar@belpoduct.com](mailto:sugar@belpoduct.com)

*Koloskova Olga Vladimirovna* — PhD (Engineering), Senior Researcher of RUE “Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29 Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [sugar@belpoduct.com](mailto:sugar@belpoduct.com)

УДК 664.2  
[https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-2\(56\)-68-73](https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-2(56)-68-73)

Поступила в редакцию 27.04.2022  
Received 27.04.2022

**Н. Н. Петюшев, Д. И. Гоман, Л. В. Евтушевская, О. Н. Станкевич**

*РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»,  
г. Минск, Республика Беларусь*

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ БУРОВОГО РЕАГЕНТА НА ОСНОВЕ КРАХМАЛА**

**Аннотация.** В статье приведен анализ современного состояния крамалоперерабатывающей отрасли Республики Беларусь, динамика производства нативного крахмала, объемы экспорта и импорта модифицированных крахмалов. Одним из направлений использования модифицированного крахмала является изготовления на его основе буровых реагентов, предназначенных для использования в нефтяной и газовой отраслях, а также в геологоразведке. Они имеют большой потенциал для сокращения импортозависимости отечественной нефтегазовой отрасли, а также имеют экспортный потенциал, особенно в условиях Севера.

Описан состав смесей полученных специалистами РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» образцов буровых реагентов, а также основные технологические параметры получения бурового агента с добавлением декстрина, хлористого натрия и Оснопак НО.

**Ключевые слова:** крахмал, крахмалопродукты, модифицированный крахмал, буровой реагент, реагент для бурения.

**N. N. Petyushev, D. I. Goman, L. V. Evtushevskaya, O. N. Stankevich**

*RUE «Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus»,  
Minsk, Republic of Belarus*

## **IMPROVEMENT OF DRILLING REAGENTS BASED ON STARCH**

**Abstract.** The article provides an analysis of the current state of the Kramal processing industry of the Republic of Belarus, the dynamics of the production of native starch, the volume of exports and imports of modified starches. One of the areas of use of modified starch is the production of drilling reagents on its basis, intended for use in the oil and gas industries, as well as in geological exploration. They have great potential to reduce the import dependence of the domestic oil and gas industry, and also have an export potential, especially in the North.

The composition of the mixtures obtained by specialists of RUE “Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food” samples of drilling reagents, as well as the main technological parameters for obtaining a drilling agent with the addition of dextrin, sodium chloride and Osнопак NO.

**Keywords:** starch, starch products, modified starch, drilling agent, drilling agent.

**Введение.** Крахмал и крахмалопродукты играют важную роль в народном хозяйстве. Они широко используются во многих отраслях пищевой промышленности: кондитерской, хлебопекарной, консервной, пищекокцентратной, молочной, мясной, а также в текстильной, бумажной, кожевенной, полиграфической, фармацевтической промышленности, в металлургии и в быту [1].

Благодаря особенностям морфологической структуры и вкусовым качествам крахмал играет решающую роль в формировании потребительских свойств многих продуктов [2].

Высокий темп инноваций, наблюдаемый в последнее время в крахмало-паточной отрасли, прежде всего, связан с разработкой различных технологий модификации нативного крахмала, т.е. целенаправленного физико-химического воздействия, позволяющего управлять его практическими свойствами [3].

**Результаты исследований и их обсуждение.** В настоящее время в Республике Беларусь функционируют около 20 предприятий государственной и частной формы собственности по переработке кар-

тофеля на крахмал и картофелепродукты. Имеющиеся мощности позволяют перерабатывать более 200 тыс. тонн картофеля в год, а также производить 25 тыс. тонн крахмала (рис. 1).

Ключевыми производителями нативного картофельного крахмала являются ОАО «Рогозницкий крахмальный завод», ОАО «Гольшанский крахмальный завод», РУП «Толочинский консервный завод», филиал «Бродницкий крахмальный завод» — РПУП «Брестский ликеро-водочный завод «Белалко», ОАО «Верховичский крахмальный завод», ОАО «Борковский крахмальный завод», РУП «Минск Кристалл» — производственные цеха в Снове и Любани. Единственным производителем нативного кукурузного крахмала является РУП «Экзон-Глюкоза».

За последние годы картофелеперерабатывающая отрасль Беларуси существенно изменилась. Введены в эксплуатацию новые производства по выпуску крахмала в ОАО «Новая Друть» в Могилевской и ОАО «Отечество» в Брестской областях. В «Новой Друти» также построен цех по производству модифицированных крахмалов для бумажной отрасли республики. В ОАО «Лидапищеконцентраты» восстановлен цех малой мощности по выпуску крахмала. На заводах в ОАО «Отечество» и ОАО «Новая Друть» установлено оборудование международной корпорации «Клетк» (Китай).

Крахмальными предприятиями Республики Беларусь выпускаются в основном нативные крахмалы. Ежегодно в Республике Беларусь производится 16-17 тыс. тонн крахмала в год из 170 тыс. тонн перерабатываемого картофеля [4].



Рис. 1. Динамика производства нативного крахмала из перерабатываемого картофеля в Республике Беларусь за 2015-2019 гг.

Fig. 1. Dynamics of production of native starch from processed potatoes in Belarus in 2015-2019

Важным направлением в развитии картофелекрахмальной отрасли является расширение производства модифицированных крахмалов. Они обладают избирательной способностью изменять или усиливать те или иные характеристики продуктов, в состав которых вносятся. Эти свойства крахмалам придаются в процессе их модификации путем физического, теплового, химического или комбинированного воздействия. Согласно Программе развития картофелекрахмальной отрасли на 2010–2015 гг., «Комплексу мероприятий по импортозамещению крахмала модифицированного в различных отраслях», во исполнение поручения Совета Министров Республики Беларусь от 5 февраля 2018 г. №06/505-41/1519р, а также поручения правительства «О реализации плана мероприятий по повышению эффективности деятельности организаций, осуществляющих выпуск крахмала» (№06/217-834/10834 р от 30.09.2019 г.), структура производства модифицированных крахмалов в Республике Беларусь формируется в настоящее время следующим образом:

1. ОАО «Новая Друть» (Бельничский район, Могилевская область) — производство химически модифицированных крахмалов, в основном катионных для нужд целлюлозно-бумажной промышленности;
2. ОАО «Рогозницкий крахмальный завод» (Мостовский район, Гродненская область) — производство физически модифицированных (экструзионных) крахмалов для технических целей;
3. ОАО «Пищевой комбинат Веселово» (Борисовский район, Минская область) — производство нескольких видов химически модифицированных крахмалов и декстрина.

Очевидно, что указанные отечественные крахмальные предприятия не могут в полной мере обеспечить внутренние потребности промышленности Республики Беларусь в модифицированных крахмалах (рис. 2).

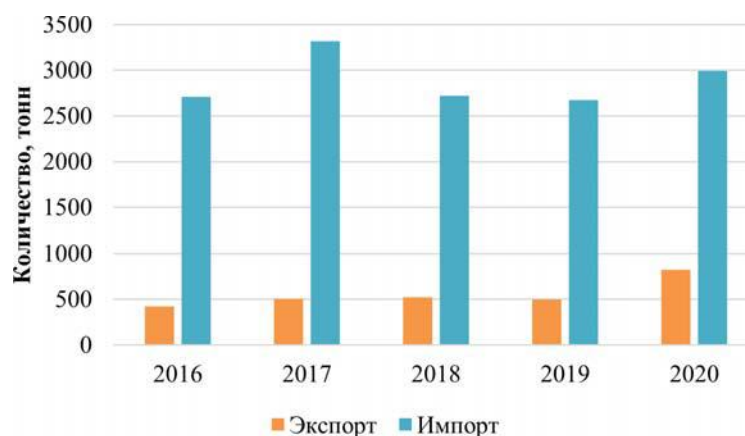


Рис. 2. Динамика экспорта и импорта модифицированного крахмала Республики Беларусь  
 Fig. 2. Dynamics of export and import of modified starch of the Republic of Belarus

Лидером по производству как нативного так и модифицированного крахмала в Республике Беларусь является ОАО «Рогозницкий крахмальный завод», (рис. 3) который оснащен современным оборудованием шведской фирмы «Ларссон», которое позволяет производить 400 тонн крахмала в сутки [5].

Также на ОАО «Рогозницкий крахмальный завод» установлен современный комплекс экструзионного оборудования швейцарского производства (Bühler AG), что позволяет предприятию производить модифицированный экструзионный крахмал и крахмалопродукты.

Сотрудниками предприятия совместно со специалистами РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» и сотрудниками БелНИПИнефть разработана технология и освоено производство бурового крахмалсодержащего реагента для бурения, который нашел свое применение в технических целях в нефтяной и газовой отраслях для стабилизации буровых растворов в качестве реагента для бурения при строительстве скважин, в картонно-бумажной и других отраслях промышленности, а также в геологической разведке.



Рис. 3. Рогозницкий крахмальный завод  
 Fig. 3. Rogoznica starch plant

УП «ПО «Белоруснефть» полностью перешло на использование отечественного бурового реагента, который обеспечивает требуемые значения ключевых показателей — вязкости и фильтрации как для биополимерных, так и для глинистых буровых растворов. Этот вид модифицированного крахмала поставляется и на экспорт.

Результаты предыдущих научно-исследовательских работ по разработке реагентов крахмалсодержащих модифицированных для бурения, вырабатываемых путем физической модификации (экс-

трудированием) крахмалсодержащего сырья показали перспективность проведения дальнейших научно-исследовательских работ по разработке технологии производства буровых реагентов с использованием химических добавок. Буровой реагент, полученный с использованием химических добавок, позволит стабилизировать набухающие в воде и диспергирующиеся глинистые сланцы, а также позволит регулировать вязкость буровых растворов.

Буровые растворы используются в самых разнообразных геологических условиях, при этом на их физико-механические свойства оказывают влияние порознь или совместно температура, давление, электролиты, стабильность, контракция, скорость сдвига, химические добавки и многое другое. Один и тот же раствор недопустимо применять для всех видов бурения. Чем сложнее устроена скважина, и чем сложнее геологические условия бурения, тем сложнее и качественнее должен быть буровой реагент. Для предотвращения аварий в процессе бурения, необходимо тщательно разрабатывать сам буровой реагент и компоновать специальные химические реагенты.

Сотрудники БелНИПИнефть отмечали, что при поддержании показателя фильтрации бурового раствора при использовании реагента для бурения, производимого ОАО «Рогозницкий крахмальный завод» на требуемом уровне значения показателя условной вязкости находятся в верхнем диапазоне предела, таким образом, целесообразно доработать состав бурового реагента с целью снижения вязкости. На основании поисковой работы в качестве понизителей вязкости были выбраны полиакриламид и полианионная целлюлоза Оснопак НО. Состав смесей полученных образцов буровых реагентов приведен в табл. 1.

Таблица 1. Состав смесей буровых реагентов с химическими добавками  
Table 1. Composition of mixtures of drilling reagents with chemical additives

Компонент	Содержание, %	Способ получения
Образец 1		
Экструзионный кукурузный крахмал	80	Механическое смешивание
Полиакриламид	20	
Образец 2		
Экструзионный кукурузный крахмал	60	Механическое смешивание
Оснопак НО	40	

Полученные образцы в разной концентрации добавлялись в модельный сапропелево-глинистый соленасыщенный раствор, затем проводился замер значений параметров фильтрационной способности и условной вязкости (табл. 2).

Таблица 2. Фильтрационная способность и условная вязкость образцов бурового агента на основе модифицированного крахмала

Table 2. Filtration capacity and relative viscosity of drilling agent samples based on modified starch

Наименование параметра	Модельный сапр.-гл. раствор	Раствор + 0,5% обр.	Раствор + 1% обр.	Раствор + 1,5% обр.	Раствор + 2% обр.
Образец 1					
Условная вязкость, с/500 мл.	30	30	35	-	-
Фильтрационная способность, мл/30 мин	42	20	4,2	-	-
Образец 2					
Условная вязкость, с/500 мл.	31	58	62	68	74
Фильтрационная способность, мл/30 мин	40	16	3,8	2,5	1,8

Требуемые показатели раствора были получены при использовании первого образца бурового реагента в концентрации 1%, также был получен требуемый показатель фильтрации при использовании второго образца в концентрации 1%, однако показатель вязкости превысил требуемое значение.

С целью определения химических добавок, уменьшающих вязкость буровых растворов, при сохранении величины коэффициента фильтрации на существующем уровне в результате поисковых исследований, результатам предварительных экспериментов и рекомендаций сотрудников БелНИПИнефть, в качестве химических добавок для работ по дальнейшему совершенствованию бурового реагента были выбраны: декстрин, Оснопак НО и хлористый натрий.

Оснопак применяется в качестве эффективного регулятора реологических и фильтрационных свойств глинистых и безглинистых буровых растворов на водной основе. Рекомендуемая концентрация химического продукта составляет от 1,5 до 5 кг/м<sup>3</sup> в зависимости от типа бурового раствора.

Декстрин — один из основных реагентов, используемых в процессе бурения. Он защищает буровые растворы от коагулирующего действия солей всех видов при температуре до 150 °С.

В производственных условиях опытно-технологического участка РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» на двухшнековом экструдере DS56-III с целью проверки принципиальной возможности экструдирования смеси крахмала и выбранных химических реагентов и проведена предварительная выработка образцов.

Экструдирование проводилось при следующих технологических режимах:

- ♦ рабочая температура экструдера — 170 °С;
- ♦ частота вращения шнеков — 80 мин<sup>-1</sup>;
- ♦ диаметр отверстия фильеры — 2,5 мм.

В табл. 3 приведен состав смесей образцов перед экструдированием.

Таблица 3. Состав образцов перед экструдированием  
Table 3. Composition of samples before extrusion

Образец 1		
Декстрин	Крахмал	Вода
1 кг	4 кг	0,4 кг
Образец 2		
Хлорид натрия	Крахмал	Вода
0,2 кг	4,8 кг	0,3 кг
Образец 3		
Гель концентрацией 1,4%		Крахмал
0,4		5 кг

Полученные образцы экструдата дробили на лабораторной дробилке до максимальной фракции 0,5 мм и использовали для определения условной вязкости на вискозиметре ВЗ-246.

Результаты измерения условной вязкости полученных образцов в концентрации 1% и 3% приведены в табл. 4.

Таблица 4. Результаты экспериментальных данных по изучению условной вязкости буровых агентов  
Table 4. Results of experimental data on the study of the conditional viscosity of drilling agents

Наименование химической добавки	Время перемешивания раствора, час				
	1	3	5	22	Среднее значение
Значение условной вязкости с концентрацией бурового реагента 1%					
Декстрин	10,6	10,8	10,8	10,8	10,7
Оснопак	10,9	11,0	11,2	10,6	10,9
Хлористый натрий	10,8	10,6	11,0	10,8	10,8
Буровой реагент (контроль)	10,7	10,6	10,7	10,9	10,7
Значение условной вязкости с концентрацией бурового реагента 3%					
Декстрин	10,9	11,0	11,1	11,2	11,1
Оснопак	11,4	11,7	11,1	11,2	11,4
Хлористый натрий	11,0	11,4	11,2	11,0	11,2
Буровой реагент (контроль)	11,3	11,4	11,5	11,4	11,4

Полученные результаты показывают, что декстрин дает некоторое снижение вязкости, в то время как Оснопак НО — увеличение. Использование хлористого натрия также приводит к снижению вязкости раствора. При увеличении концентрации бурового реагента эта тенденция сохраняется, причем увеличение времени перемешивания более 3 часов практически не оказывает влияния на вязкость раствора.

**Заключение.** В процессе проведенных экспериментальных исследований установлено, что буровой реагент, полученный с добавлением декстрина и хлористого натрия, дает некоторое снижение вязкости раствора, в то время как использование Оснопак НО приводит к ее увеличению. При увели-



чении концентрации полученных экспериментальных образцов буровых реагентов с использованием химических добавок эта тенденция сохраняется.

Для установления производственных рецептурных соотношений химических добавок и крахмала будет проведена выработка образцов бурового реагента в промышленных условиях ОАО «Рогозницкий крахмальный завод» на промышленном двухшнековом экструдере Bühler.

### Список использованных источников

1. Ловкис, З. В. Технология крахмала и крахмалопродуктов: учебное пособие / З.В. Ловкис, | В.В. Литвяк, Н.Н. Петюшев. — Минск: Асобны, 2007. — 178 с.
2. Крахмал и крахмалопродукты: монография / В.В. Литвяк [и др.]. — Краснодар: Изд. ФГБЩУ ВПО «КубГТУ», 2013. — 204 с.
3. Картофель и картофелепродукты: наука и технология / З. В. Ловкис [и др.]. — Минск : Беларус. Навука, 2008. — 537 с.
4. Производство крахмала в Республике Беларусь [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://rep.polessu.by/bitstream/123456789/13520/1/Latyshevich\\_SV.pdf](https://rep.polessu.by/bitstream/123456789/13520/1/Latyshevich_SV.pdf). — Дата доступа: 25.04.2022.
5. Сельское хозяйство Республики Беларусь : статистический сборник [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/7ce/7ce6207d84d4ad5801ee24bb91548090.pdf>. — Дата доступа: 25.04.2022.
6. Балансы продовольственных ресурсов Республики Беларусь 2014–2019 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.belstat.gov.by/upload/iblock/b51/b51ac58d1708e98162a6f36f645f312a.pdf>. — Дата доступа: 26.04.2021 г.
7. Национальный статистический комитет Республики Беларусь [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://belstat.gov.by/>. — Дата доступа: 24.04.2022.

### Информация об авторах

*Петюшев Николай Николаевич* — кандидат технических наук, начальник отдела технологий продукции из корнеклубнеплодов РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 22037, г. Минск, Республика Беларусь) E-mail: [petushev@belproduct.com](mailto:petushev@belproduct.com)

*Гоман Дмитрий Иосифович* — научный сотрудник отдела технологий продукции из корнеклубнеплодов РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: [goman1191@gmail.com](mailto:goman1191@gmail.com)

*Евтушевская Людмила Владимировна* — научный сотрудник отдела технологий продукции из корнеклубнеплодов РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: [info@belproduct.com](mailto:info@belproduct.com)

*Станкевич Ольга Николаевна* — инженер-технолог отдела технологий продукции из корнеклубнеплодов РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: [info@belproduct.com](mailto:info@belproduct.com)

### Information about the authors

*Petyushev Nikolai Nikolaevich* — PhD (Engineering), Head of the Department of Technologies for Root and Tuber Products of RUE «Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus» (Kozlova str., 29, 22037, Minsk, Republic of Belarus) E-mail: [petushev@belproduct.com](mailto:petushev@belproduct.com)

*Goman Dmitry Iosifovich* — Researcher of the Department of Technologies of Root and Tuber Products of RUE «Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus» (Kozlova str., 29, 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [goman1191@gmail.com](mailto:goman1191@gmail.com)

*Evtushevskaya Lyudmila Vladimirovna* — Researcher of the Department of Technologies of Root and Tuber Products of RUE «Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus» (Kozlova str., 29, 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [info@belproduct.com](mailto:info@belproduct.com)

*Stankevich Olga Nikolaevna* — Process Engineer of the Department of Technologies for Root and Tuber Products of RUE «Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus» (29 Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [info@belproduct.com](mailto:info@belproduct.com)

УДК 664.68  
[https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-2\(56\)-74-79](https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-2(56)-74-79)

Поступила в редакцию 06.05.2022  
Received 06.05.2022

**Е. М. Моргунова, Ю. А. Шимановская**

*РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»,  
г. Минск, Республика Беларусь*

## **СЕНСОРНЫЙ АНАЛИЗ И КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА НИЗКОБЕЛКОВЫХ ПРОДУКТОВ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

**Аннотация.** Проведены исследования показателей качества, пищевой ценности, витаминно-минерального и аминокислотного состава новых видов пищевых продуктов специализированного назначения: низкобелковых сухих смесей для выпечки. Определены основные органолептические показатели разработанных низкобелковых продуктов питания. Оценку качества новых видов пищевых продуктов по органолептическим показателям проводили на заседании дегустационной комиссии, результаты были оформлены графически с использованием метода профильного анализа флейвора. Анализ физико-химических исследований показал, что все разработанные специализированные продукты питания не содержат глютен, имеют низкое содержание белка, безопасный уровень содержания фенилаланина и могут быть рекомендованы для диетического питания больных фенилкетонурией, целиакией и острой почечной недостаточностью. Кроме того, в низкобелковых смесях присутствует значительное количество минеральных веществ, таких как калий, фосфор, натрий и магний.

**Ключевые слова:** целиакия, фенилкетонурия, почечная недостаточность, низкобелковые смеси, кекс, печенье, белок, фенилаланин, глютен, показатели качества.

**E. M. Morgunova, Y. A. Shymanouskaya**

*RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus”,  
Minsk, Republic of Belarus*

## **SENSORY ANALYSIS AND QUALITY CONTROL OF LOW-PROTEIN PRODUCTS FOR SPECIALIZED PURPOSES**

**Abstract.** Studies of quality indicators, nutritional value, vitamin-mineral and amino acid composition of new types of specialized food products: low-protein dry mixes for baking have been carried out. The main organoleptic indicators of the developed low-protein foods are determined. The assessment of the quality of new types of food products according to organoleptic indicators was carried out at a meeting of the tasting commission, the results were graphically drawn using the method of profile analysis of flavor. The analysis of physico-chemical studies has shown that all the developed specialized food products do not contain gluten, have a low protein content, a safe level of phenylalanine and can be recommended for dietary nutrition of patients with phenylketonuria, celiac disease and acute renal failure. In addition, low-protein mixtures contain a significant amount of minerals, such as potassium, phosphorus, sodium and magnesium.

**Key words:** celiac disease, phenylketonuria, renal failure, low-protein mixtures, cupcake, cookies, protein, phenylalanine, gluten, quality indicators.

**Введение.** Сбалансированное питание — важнейшая составляющая здорового образа жизни человека, обеспечивающая организм необходимыми компонентами, способная также выполнять и лечебную функцию, что особенно актуально в случае нарушений белкового обмена [1, 2]. В настоящее время насчитывается около 60 наследственных заболеваний, связанных с нарушением обмена аминокислот. Наиболее распространенным из них является фенилкетонурия [3, 4].

Фенилкетонурия (ФКУ) — наследственное заболевание группы ферментопатий, связанное с нарушением метаболизма аминокислот, главным образом фенилаланина. Оно сопровождается накоплением фенилаланина и его токсических продуктов, что приводит к тяжелому поражению ЦНС, проявляющемуся, в частности, в виде нарушения умственного развития [5, 6].

Почти 98% всех продуктов, которые употребляют обычные люди, для больных фенилкетонурией являются ядом. Их рацион достаточно скудный, в основном это 5 видов овощей, исключая бобовые,

и аминокислотные смеси. Запрещены к употреблению молочные продукты, мясо, макароны, крупы, хлеб, рыба, яйца [7,8].

Фенилаланин является незаменимой аминокислотой, необходимой для адекватного развития. Установлено, что чем младше ребенок, тем в большем количестве фенилаланина он нуждается, так как, в отличие от взрослых, 40% пищевого фенилаланина у детей первого года жизни расходуется на синтез собственных белков [9].

Во всем мире средний уровень заболеваемости составляет около 1 случая на 10 тыс. новорожденных. Частота заболевания в большинстве стран мира, в которых еще не введена программа скрининга новорожденных, неизвестна. Среди республик постсоветского пространства, по данным неонатального скрининга, наибольшая частота заболевания (1:5578) отмечена в Республике Беларусь и Украине (1:5750). В России заболевание встречается с частотой 1:7122. В Эстонии фенилкетонурия диагностируется у 1 из 8090 новорожденных, в Литве — у 1 из 11 786 110. В Латвии (частота 1:20 000) заболевание встречается в 2,5 реже, чем в Эстонии и в 1,7 раза реже по сравнению с Литвой [10].

На территории Беларуси рынок низкобелковых продуктов до сих пор является свободным, поэтому ассортимент изделий рассматриваемого назначения представлен в основном изделиями импортного производства высокого ценового сегмента. В связи с этим специалистами РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» был разработан ассортимент низкобелковых пищевых продуктов для употребления всеми группами населения. При разработке продуктов основной упор делался на получение продуктов с пониженным содержанием фенилаланина.

**Целью работы** является исследование показателей качества, пищевой ценности, минерального, витаминного и аминокислотного состава новых видов пищевых продуктов специализированного назначения: низкобелковых сухих смесей для выпечки.

**Материалы и методы исследований.** Для оценки качества низкобелковых продуктов питания использовали органолептические (органолептические показатели) и измерительные (физико-химические и микробиологические показатели) методы. Отбор проб и проведение испытаний качества готовых изделий осуществляли по ГОСТ 15113.0-77 Концентраты пищевые. Правила приемки, отбор и подготовка проб [11]; ГОСТ 15113.1-77 Концентраты пищевые. Методы определения качества упаковки, массы нетто, объемной массы, массовой доли отдельных компонентов, размера отдельных видов продукта и крупности помола [12]; ГОСТ 15113.3-77 Концентраты пищевые. Методы определения органолептических показателей, готовности концентратов к употреблению и оценки дисперсности суспензии [13].

**Результаты исследований и их обсуждение.** В результате работы определены основные органолептические показатели разработанных низкобелковых продуктов питания в соответствии с ГОСТ 15113.3-77 [13]. Это внешний вид, цвет, вкус, запах и консистенция. Полученные результаты представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1. Результаты органолептической оценки продуктов сухих низкобелковых  
Table 1. Results of organoleptic evaluation of dry low-protein products

Наименование показателя	Смеси сухие низкобелковые для выпечки	Вывод о соответствии требованиям ТНПА
Внешний вид	Сухая сыпучая смесь без посторонних включений	Соответствует
Цвет	От белого до желтого разных оттенков, однородный по всей массе. Цвет смеси соответствует каждому компоненту продукции	Соответствует
Вкус и запах продукта	Запах свойственный запаху применяемого сырья с легким ароматом ванили. Без постороннего привкуса и запаха	Соответствует
Цвет восстановленных продуктов	Свойственный используемым компонентам, без постороннего привкуса	Соответствует
Консистенция восстановленных продуктов	Свойственная одноименным блюдам приготовленным кулинарным способом со вкусом применяемых компонентов без посторонних привкуса и запаха	Соответствует

Из данных, представленных в табл. 1, видно, что по органолептическим показателям представленные на оценку образцы низкобелковых продуктов питания соответствуют требованиям ГОСТ 15113.3-77 [13].

Для проведения оценки уровня качества низкобелковых продуктов питания изготовленные лабораторные образцы были представлены на заседание дегустационной комиссии. Определены критерии оценки качества: внешний вид, вкус, запах, консистенция продуктов. Эксперты располагали показателями качества в определенной последовательности с использованием рангов от 1 до 5. Для установления характера полученных различий между продуктами результаты дегустационной оценки были оформлены графически с использованием метода профильного анализа флейвора (рис. 1).

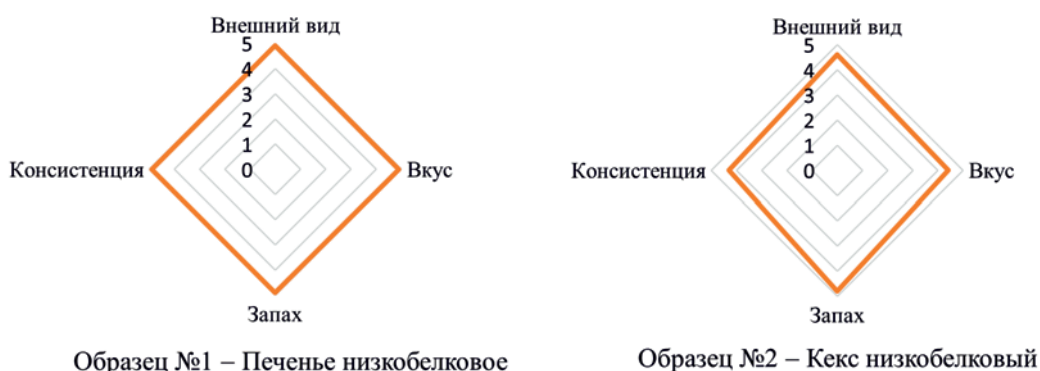


Рис. 1. Органолептическая оценка низкобелковой продукции с использованием метода профильного анализа флейвора

Fig. 1. Organoleptic evaluation of low-protein products using the method of profile analysis of flavor

Все представленные образцы продуктов получили высокие оценки, средний балл по 5-балльной системе для печенья и кекса составил 4,9 и 4,4 соответственно, отмечен сбалансированный состав разработанных продуктов, хорошие органолептические качества и внешний вид продукции.

Таблица 2. Физико-химический состав низкобелковых продуктов питания  
Table 2. Physico-chemical composition of low-protein foods

Наименование продукта	Содержание глютена, мг/кг	Массовая доля белка, %	Массовая доля фенилаланина, мг/100 г
Смесь сухая низкобелковая для выпечки печенья	Менее 10	2,15	16,15
Смесь сухая низкобелковая для выпечки кексов	Менее 10	1,47	11,52

В Республиканском контрольно-испытательном комплексе по качеству и безопасности продуктов питания РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» проведены исследования по определению основных физико-химических (массовая доля белка, фенилаланина и глютена) и микробиологических показателей. Результаты исследований отражены в табл. 2 и 3.

Анализ результатов, представленных в табл. 2, показал, что разработанные специализированные продукты питания не содержат глютен, имеют низкое содержание белка, безопасный уровень содержания фенилаланина и могут быть рекомендованы диетического питания больных фенилкетонурией, целиакией и острой почечной недостаточностью.

Таблица 3. Микробиологические показатели низкобелковых продуктов питания  
Table 3. Microbiological indicators of low-protein foods

Образцы	КМАФАнМ, КОЕ/г	БГКП	Патогенные микроорганизмы (сальмонеллы)	Дрожжи, КОЕ/г	Плесени, КОЕ/г
Требования к продукции, уст. ТНПА	не более $1,0 \times 10^5$	не допускается в 0,01 г	не допускается в 25,0 г	не более 500	не более 500
Смесь сухая низкобелковая для выпечки печенья	$1,4 \times 10^3$	не обнаружено	не обнаружено	$< 1,0 \times 10$	$< 1,0 \times 10$
Смесь сухая низкобелковая для выпечки кексов	$7,6 \times 10^2$	не обнаружено	не обнаружено	$< 1,0 \times 10$	$2 \times 10$

Анализ данных, представленных в табл. 3, показал, что микробиологические показатели находятся в пределах допустимых норм, установленных санитарными нормами и правилами [14] и ТР ТС 021/2011 [15].

Для установления безопасности разработанных изделий определяли следующие показатели: токсичные элементы, пестициды и радионуклиды. Исследования проводились в научно-методическом отделе РУП «Научно-практический центр гигиены». Значения показателей безопасности представлены в табл. 4.

Т а б л и ц а 4. Показатели безопасности низкобелковых продуктов питания  
Table 4. Safety indicators of biscuit low-protein foods

Наименование показателя	Требования ТНПА	Смесь сухая низкобелковая для выпечки печенья	Смесь сухая низкобелковая для выпечки кексов
Токсичные элементы, мг/кг:			
Свинец	не более 0,5	не обнаружено	не обнаружено
Мышьяк	не более 0,5	не обнаружено	не обнаружено
Кадмий	не более 0,1	не обнаружено	не обнаружено
Ртуть	не более 0,02	не обнаружено	не обнаружено
Радионуклиды, Бк/кг:			
Цезий — 137	не более 60	менее 5	менее 5
Пестициды, мг/кг:			
Гексахлорциклогексан (альфа, бета, гамма — изомеры)	не более 0,5	не обнаружено	не обнаружено
ДДТ и его метаболиты	не более 0,05	не обнаружено	не обнаружено

Исследования образцов низкобелковой продукции по содержанию токсичных элементов, радионуклидов, пестицидов показали, что они соответствуют требованиям ТР ТС 021/2011 [15].

Определены пищевая и энергетическая ценности исследуемых низкобелковых продуктов питания в сухом виде и в порции восстановленной смеси. Результаты представлены в табл.5.

Т а б л и ц а 5. Значения пищевой и энергетической ценности низкобелковых продуктов питания  
Table 5. Values of nutritional and energy value of low-protein foods

Наименование продукта	Белки, г	Фенилаланин, мг	Жиры, г	Углеводы, г	Энергетическая ценность, кДж/ккал
Смесь сухая низкобелковая для выпечки печенья, 100 г	2,5	90	2,0	77	1420/340
Готовая восстановленная смесь для выпечки печенья, 30 г	0,5	25	0,5	17	320/70
Смесь сухая низкобелковая для выпечки кексов 100 г	2,0	100	1,5	70	1280/300
Готовая восстановленная смесь для выпечки кексов, 30 г	0,5	35	0,5	30	430/130

Минеральный состав исследуемых образцов низкобелковых смесей для выпечки представлен комплексом макро- и микроэлементов (рис. 2).

Низкобелковые продукты питания содержат значительное содержание натрия и калия, что благотворно действует на работу сердечно-сосудистой системы. Ионы натрия принимают участие в поддержании постоянного осмотического давления в клетках и кислотно-основного равновесия в организме [16, 17]. Наличие кальция будет поддерживать минерализацию костей [18, 19]. Калий играет важную роль в метаболизме клетки, способствует нервно-мышечной деятельности, регулирует внутриклеточное осмотическое давление, регулирует кислотно-щелочное равновесие крови, улучшает работу мышц, регулирует деятельность некоторых ферментов [20].

Исследования витаминного состава новых видов низкобелковых пищевых продуктов выявило значительное содержание витамина B5, необходимого для синтеза антител, жизненно важных жирных кислот, холестерина и для повышения переносимости умственных и физических нагрузок [21].

Исследование аминокислотного состава показало, что в анализируемых образцах преобладает содержание таких незаменимых аминокислот, как: метионин, фенилаланин и валин. Среди заменимых аминокислот для данных образцов характерно преобладание гистидина (рис.3).

Недостаточное содержание аминокислот в образцах восполняется применением специальных лечебных составов (смеси из набора аминокислот без фенилаланина, но с добавлением минералов и витаминов) [22].

**Заключение.** В результате проведенных исследований установлено, что новые виды низкобелковых продуктов питания содержат не более 2,5 % белка, не более 20 мг/100 г фенилаланина, менее 10 мг/кг глютена и низкое количество жиров — не более 2 г/100 г.

На основании полученных результатов можно утверждать, что разработанные низкобелковые продукты питания могут быть рекомендованы в качестве продуктов питания для детей с дефицитом фенилаланингидроксилазы, так как содержат низкое количество белка и безопасный уровень фени-

лаланина, обладают высокими органолептическими показателями, не содержат глютен. Микробиологические показатели находятся в пределах допустимых норм, установленных нормативной документацией Министерства здравоохранения Республики Беларусь.

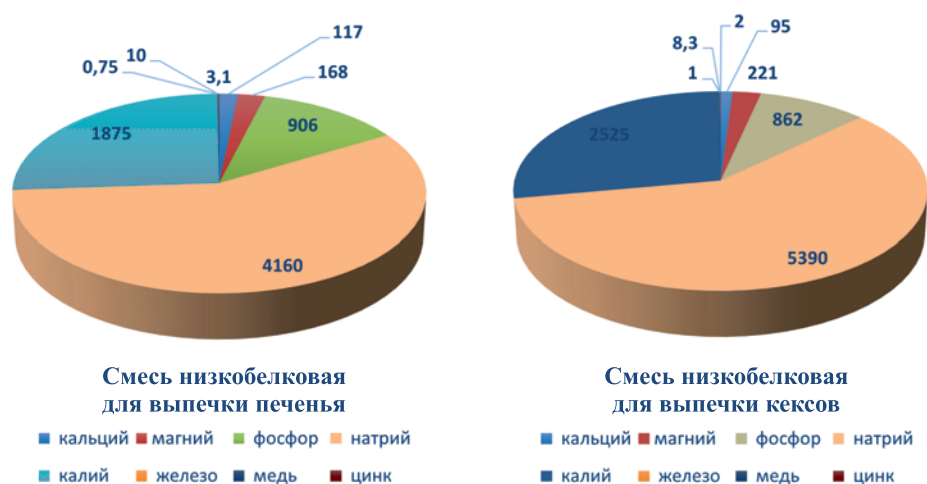


Рис. 2. Минеральный состав низкобелковых продуктов питания, мг/кг  
Fig. 2. Mineral composition of low-protein foods, mg/kg

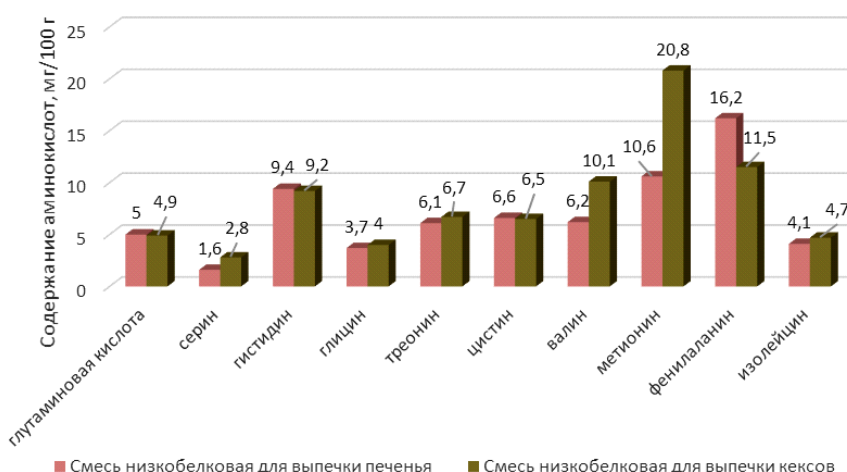


Рис. 3. Аминокислотный состав низкобелковых продуктов питания  
Fig. 3. Amino acid composition of low-protein foods

Благодарности. Работа выполнена в рамках реализации грантов Президента Республики Беларусь на 2022 год.

### Список использованных источников

1. Мадзиевская, Т. А. Новые смеси для производства специализированных макаронных изделий / Т. А. Мадзиевская, Т. Н. Шункевич, А. А. Белая // Наука и инновации. — 2014. — №5. — С. 42–43.
2. Горячко, А. Н. Наследственные болезни обмена веществ у новорожденных детей : учеб. — метод. пособие / А. Н. Горячко, Г. Ф. Елиневская, В. Л. Бутыгина. — Минск: БГМУ, 2009. — 32 с.
3. Копылова, Н. В. Фенилкетонурия: классификация, диагностика, диетотерапия / Н. В. Копылова // Вопросы детской диетологии. — 2004. — Т. 2, № 6. — С. 31–46.
4. Бабич, О. О. Особенности биотрансформации фенилаланина в технологии продуктов питания для больных фенилкетонурией / О. О. Бабич, Л. С. Солдатова, И. С. Разумникова // Техника и технология пищевых производств. — 2011. — №2. — С. 103–109.

5. *Sumaily, K. M.* Phenylketonuria: A new look at an old topic, advances in laboratory diagnosis, and therapeutic strategies / K. M. Sumaily, A. H. Mujamammi // *Int J Health Sci (Qassim)*. — 2017. — No. 11, № 5. — P. 63–70.
6. *Горячко, А. Н.* Современные подходы к лечению фенилкетонурии и лейциноза (болезни кленового сиропа) : учеб.-метод. пособие / А. Н. Горячко. — Минск : БГМУ, 2011 — 26 с.
7. *Григель, А. И.* Особенности технологии производства низкобелковых продуктов питания / А. И. Григель // *Пищевая промышленность: наука и технологии*. — 2021. — Т. 14, №4 (98). — С. 98–104.
8. *Ловкис, З. В.* Технология и аппараты низкобелковых продуктов питания / З. В. Ловкис, А. И. Григель // *Наука, питание и здоровье: сборник научных трудов. Часть 1*. — Минск: Белорусская наука. — 2021. — С. 153–160.
9. Специализированные продукты лечебного питания для детей с фенилкетонурией. Методическое письмо. 3-е издание. — М., 2012. — 84 с.
10. *Троцкая, Т. П.* Организация школьного питания для детей, страдающих фенилкетонурией / Т. П. Троцкая, Н. В. Чугай // *Пищевая промышленность: наука и технологии*. — 2019. — Т. 12, № 4 (46). — С. 6–14.
11. Концентраты пищевые. Правила приемки, отбор и подготовка проб: ГОСТ 15113.0-77. — Введ. 24.08.77. — Москва: ИПК издательство стандартов, 2003. — 6 с.
12. Концентраты пищевые. Методы определения качества упаковки, массы нетто, объемной массы, массовой доли отдельных компонентов, размера отдельных видов продукта и крупности помола: ГОСТ 15113.1-77 — Введ. 24.08.77. — СССР, Гос.комитет стандартов Совета Министров, 1988. — 4 с.
13. Концентраты пищевые. Методы определения органолептических показателей, готовности концентратов к употреблению и оценки дисперсности суспензии ГОСТ 15113.3-77 — Введ. 01.01.79. — Москва: ИПК издательство стандартов, 2003. — 2 с.
14. Постановление Министерства здравоохранения Республики Беларусь 21 июня 2013 № 52 Санитарные нормы и правила «Требования к продовольственному сырью и пищевым продуктам».
15. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции» ТР ТС 021/2011 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/902320560>. — Дата доступа: 15.05.2022.
16. Водно-электролитный баланс и принципы его коррекции у детей: учеб. — В62 метод. пособие / А. Е. Кулагин [и др.]. — Минск: БГМУ, 2011 — 32 с.
17. Роль биогенных элементов в организме человека и применение их в медицине и фармации: учебное пособие / сост. И.И. Бочкарева, И. Н. Дьякова. — Майкоп: Качество, 2016. — 127 с.
18. *Hess, S. Y.* Treatment of iron deficiency in goitrous children improves the efficacy of iodized salt in Cote d'Ivoire / S. Y. Hess, M. V. Zimmermann, P. Adou, T. Torresani, R. F. Hurrell // *Am. J. Clin. Nutr.* — 2002. — Vol. 75 (4). — P. 743–748.
19. *Heaney, R.P.* Bone health / R.P. Heaney // *Am.J.Clin. Nutr.* — 2007. — Vol. 85(1). — P. 300–303.
20. Общая химия. Учебник/ Н. Л. Глинка. — М.: Кнорус, 2010. — 752 с.
21. Витамины. Роль в обмене веществ : учеб. пособие [Электронный ресурс] / Л. В. Зотова, Е. Н. Коваленко, Е. В. Громова, Л. Я. Лабзина. — Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2018. — 214 с.
22. Разработка низкобелковых макаронных изделий для питания людей с нарушением обмена фенилаланина / З. В. Ловкис [и др.] // *Пищевая промышленность: наука и технологии*. — 2020. — Т.13, №3 (49). — С. 6–11.

#### Информация об авторах

*Моргунова Елена Михайловна* — кандидат технических наук, доцент, заместитель генерального директора по стандартизации и качеству продуктов питания РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: [info@belproduct.com](mailto:info@belproduct.com)

*Шимановская Юлия Александровна* — младший научный сотрудник отдела технологий продукции из корнеклубнеплодов РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: [yuliya.sorokina.96@bk.ru](mailto:yuliya.sorokina.96@bk.ru)

#### Information about the authors

*Morgunova Elena Mikhailovna* — PhD (Engineering), Associate Professor, Deputy Director General for Standardization and Quality of Food Products of RUE «Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food» (Kozlova str., 29, 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [info@belproduct.com](mailto:info@belproduct.com)

*Shymanouskaya Yulia Alexandrovna* — junior researcher of the technology department of the department of products from root crops of the RUE “Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food” (Kozlova str., 29, 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [yuliya.sorokina.96@bk.ru](mailto:yuliya.sorokina.96@bk.ru)

УДК 641.522.2  
[https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-2\(56\)-80-84](https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-2(56)-80-84)

Поступила в редакцию 22.04.2022  
Received 22.04.2022

**А. Г. Дорофеев, С. И. Чаевский**

*ООО «Белагролекс» г. Минск, Республика Беларусь*

## **ИЗМЕНЕНИЕ ПЕРЕКИСНОГО ЧИСЛА И ПРОДУКТОВ ТЕРМИЧЕСКОГО ОКИСЛЕНИЯ ВО ФРИТЮРНЫХ ЖИРАХ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СНЕКОВОЙ ПРОДУКЦИИ**

**Аннотация.** В производстве снековой продукции особое значение имеет качество фритюра. Высокая температура, кислород, вода портят жир, поэтому стабильность фритюрного жира очень важна для производителей.

В статье приведены результаты исследований по использованию растительных экстрактов, являющихся природными антиоксидантами, для продления срока использования фритюра до его замены. Экспериментально подтверждена возможность существенного продления срока использования фритюрных жиров, при добавлении антиокислителей «Экстрале». Выявлены и обоснованы эффективные параметры контроля качества фритюрных жиров.

Для проведения исследований были использованы натуральный экстракт розмарина, а также добавки пищевые комплексные «Экстрале RT» и «Экстрале GT», произведенные в Республике Беларусь. Специалистами ООО «Белагролекс» разработаны новые эффективные антиокислители с учетом синергизма действия экстракта розмарина, экстракта зеленого чая и смеси токоферолов.

На основании полученных результатов исследований рекомендовано использовать для контроля качества фритюра измерение перекисного числа и экспресс-методики определения содержания окисленных веществ. Контроль данных параметров значительно улучшит качество снековой продукции, а использование антиоксидантов «Экстрале» позволяет продлить время использования фритюрного масла и сроки годности готовой продукции.

**Ключевые слова:** фритюр, срок годности, снеки, антиоксиданты, антиокислители, экстракт, розмарин, экстрале, перекисное число, окисление, порча.

**A. G. Dorofeyev, S. I. Chaevskij**

*LLC “Belagrolex” Minsk, Republic of Belarus*

## **CHANGES IN THE PEROXIDE NUMBER AND THERMAL OXIDATION PRODUCTS IN DEEP-FRYING FATS IN THE PRODUCTION OF SNACK PRODUCTS**

**Abstract.** The quality of frying fat is important in the production of snack products. High temperature, oxygen, water spoil the fat. The stability of frying fat is very important for manufacturers.

Botanical extracts (natural antioxidants) are preferred by humans, maintain an attractive clean label, extend the life of the deep fryer before replacing it, extend the shelf life of the product. In the course of the research, the possibility of a significant extension of the period of use of frying fats with the addition of antioxidants “Extrale” was confirmed, effective parameters for monitoring the quality of frying fats were identified and substantiated.

In the test, a natural extract of rosemary was used, as well as food additives complex “Extrale RT” and “Extrale GT” produced by the Republic of Belarus. Using the synergism of rosemary extract, green tea extract and a mixture of tocopherols, Belagrolex specialists managed to create new and very effective antioxidants.

Based on our research experience, the introduction of the measurement of peroxide value and express methods for controlling the content of oxidized substances for quality control of frying fat is recommended. The control of these parameters will significantly improve the quality of snack products, and the use of Ektrale antioxidants will extend their shelf life and the time of using frying fat.

**Keywords:** frying fat, shelf life, snacks, antioxidants, oxidation inhibitor, extract, rosemary, extrale, peroxide value, oxidation, spoilage.



**Введение.** Предприятие ООО «Белагролекс» специализируется на продлении сроков годности продуктов питания за счет внесения различных экстрактов и других натуральных веществ. Более десяти лет мы исследуем, производим и продаем различные натуральные антиокислители. Организована исследовательская лаборатория, осуществляется активное сотрудничество с лабораториями ведущих профильных научных учреждений Беларуси (РУП «Институт мясо-молочной промышленности», РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию», РУП «Белтехнохлеб»).

В производстве снековой продукции особое значение имеет качество фритюрного масла. Высокая температура (150–170 °С), свободный доступ кислорода воздуха, выделение влаги и других компонентов обжариваемого продукта необратимо снижают качество фритюрного жира, а также ведут к накоплению вредных веществ в готовой продукции. Продукты окислительного распада и гидролиза, объединяемые под общим термином «полярные соединения», изменяют не только химический состав жира, но и его физические и органолептические свойства, а также кинетику процесса жарки. Вопросы стабильности фритюрного жира во время жарки и его устойчивости к процессам окисления являются первостепенными для производителей.

Применение различных антиоксидантов улучшает качество фритюрных жиров, защищая их от окисления прогоркания, снижая запах и горечь продукта, а также продлевая срок использования фритюрного масла без необходимости его замены.

По своему происхождению антиоксиданты делятся на синтетические и природные. Синтетические антиоксиданты ухудшают органолептику конечного продукта, а главное могут нанести вред здоровью при их неправильном использовании. Природные антиоксиданты (растительные экстракты) более предпочтительны для человека и позволяют создавать привлекательную для покупателя продукцию, не вносят «металлический» привкус, свойственный химическим добавкам.

Анализ данных производителя антиоксидантов, а также исследования, проведенные совместно с ведущими научно-исследовательскими институтами и лабораториями, позволили получить интересные и перспективные для производителей снековой продукции результаты: существенно продлить срок использования фритюрных жиров, с добавлением антиокислителей «Экстрале», а также выявить эффективные параметры контроля качества фритюрных жиров.

**Материалы и методы исследований.** В настоящий время производители снековой продукции в Республике Беларусь для определения качества фритюрного масла в основном используют показатель кислотного числа (далее КЧ) согласно методике [1], выраженный в мг гидроокиси калия (далее КОН), необходимой для нейтрализации свободных жирных кислот (далее СЖК) и других нейтрализуемых щелочью веществ, содержащихся в 1 г масла (мг КОН/г).

СЖК образуются в пищевых продуктах в основном в результате гидролитической, а не окислительной порчи. Тем не менее, измерение их количества зачастую выполняется параллельно с определением продуктов окисления липидов, что является особенно важно для фритюрных жиров. Кроме того, количество СЖК используют в качестве индикатора окислительной стабильности при хранении снековой продукции. СЖК участвуют в формировании посторонних привкусов [5].

Перекисное число (далее — ПЧ) служит количественным показателем присутствия первичных продуктов окисления жирных кислот в составе жиров, то есть окислительных изменений, происходящих в жирах. По величине ПЧ можно судить о начальной стадии окисления липидов, на которой образуются пероксиды и гидропероксиды, которые несущественно влияют на органолептические свойства фритюрного жира, но по их наличию можно судить о свежести фритюрного жира задолго до появления неприятного вкуса и запаха [5]. Поскольку пероксиды и гидропероксиды образуются на ранних стадиях окисления липидов, определение количества ПЧ соответственно и применяют для раннего обнаружения прогорклости.

Для определения ПЧ используют различные методы анализа: физические, например полярографический, или химические (йодометрический, железороданидный) [5]. Наибольшее распространение получил йодометрический метод согласно ТНПА [2] и [3], основанный на взаимодействии активного перекисного или гидроперекисного кислорода с йодистоводородной кислотой или йодидом калия (рис 1).

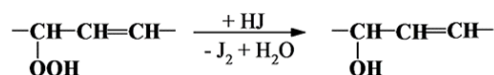


Рис. 1. Реакция взаимодействия перекисного кислорода в составе окисленной ненасыщенной жирной кислоты с йодистоводородной кислотой  
Fig. 1. Peroxide reaction with hydroiodic acid, which is part of the structure of an oxidized unsaturated fatty acid

ПЧ принято выражать количеством миллиграмм йода, выделенного перекисями из 100 г жира (в процентах) в миллимолях активного кислорода на килограмм жира (ммоль 1/2O<sub>2</sub>/кг) или миллиэквивалентах активного кислорода на килограмм жира (мэкв/кг).

Увеличение стойкости растительного масла при жарке во фритюре при внесении антиоксидантов «Экстрале» легко увидеть, используя следующие экспресс-методы определения продуктов термического окисления во фритюре:

- ♦ химический метод, основанный на цветной реакции взаимодействия окисленных веществ, перешедших из фритюрного жира в спиртовой раствор калия гидроокиси с метиленовым голубым. При наличии в исследуемом фритюре менее 1 % окисленных веществ цвет жидкости в пробирке становится розовым (сиреневый с малиновым оттенком), более 1 % — окраска жидкости в пробирке желто-коричневая. Метод является тестовым и выполняется согласно [4] п. 5.8.2.,

- ♦ рефрактометрический метод, основанный на сравнении показателя преломления фритюра и исходного свежего масла при температуре 20 °С. По мере накопления в масле продуктов окисления и сополимеризации возрастает показатель преломления жира. Согласно методике [4] п. 5.8.1. разность между двумя показателями преломления не должна быть более 0,001, что соответствует предельно допустимому количеству продукта термического окисления во фритюре. Применение данной методики в производстве снеков считаем допустимым для определения качества фритюрного масла в связи с тем, что отдельный документ, регламентирующий показатели фритюра при рефрактометрическом способе не принят в Республике Беларусь.

Наличие надежного маркера ПЧ окислительной порчи всегда является целесообразным, даже если у него нет прямой корреляции с органолептической оценкой прогорклости. Его обнаружение и количественный анализ используется для установления факта окисления липидов и, самое главное, для выявления причины появления постороннего привкуса в конечном продукте в процессе его хранения. Факт наличия посторонних привкусов и запахов используют для оценки полноты технологической обработки продукта и степени устранения окисления липидов. Если определяется лишь кислотное число, то могут возникнуть сложности с качеством продукта с органолептической точки зрения.

В лаборатории ООО «Белагролекс» были проведены испытания фритюрного масла по методике, принятой на нашем предприятии. Она позволяет оценить стойкость масла при ускоренной порче или жарке. Во время эксперимента отбирались пробы согласно [6] и измерялось ПЧ по методикам [2] и [3].

В испытаниях были использованы разные виды натуральных антиоксидантов. На графике (рис. 2) приведены результаты исследований для четырех из них — натурального экстракта розмарина (произведены в Испании) а также добавок пищевых комплексных «Экстрале RT» и «Экстрале GT» (произведены в Республике Беларусь), соответствующих требованиям технических условий [7]). Антиокислители «Экстрале» разработаны специалистами ООО «Белагролекс» с учетом многолетнего европейского и отечественного опыта. Эффективность полученных антиокислителей основана на использовании синергизма экстракта розмарина, экстракта зеленого чая и смеси токоферолов и подтверждена в лабораторных условиях.

Результаты исследований образцов подсолнечного масла с различными антиоксидантными добавками отражены на графике (рис. 2). В качестве контрольного образца использовалось масло, не содержащее антиоксиданты. Для него измерялись значения ПЧ по методике [2] и КЧ по методике [1]. Результаты испытаний показаны на графиках (рис. 3 и 4).

**Результаты исследований и их обсуждение.** Как видно из графика (рис. 3), метод определения КЧ неинформативен для установления окислительной стойкости фритюрного масла по причине его незначительного изменения в процессе жарки.

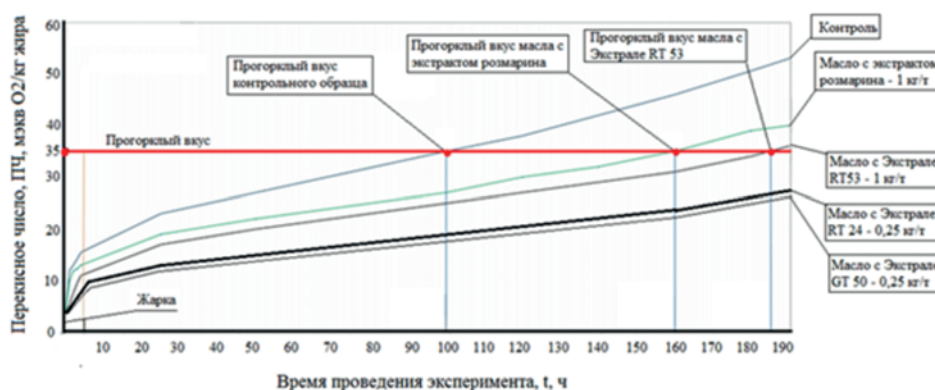


Рис. 2. Изменение перекисных чисел образцов подсолнечного масла с различными антиоксидантами и контрольного образца.

Fig. 2. Changes in peroxide values of sunflower oil samples containing various antioxidants and a control sample

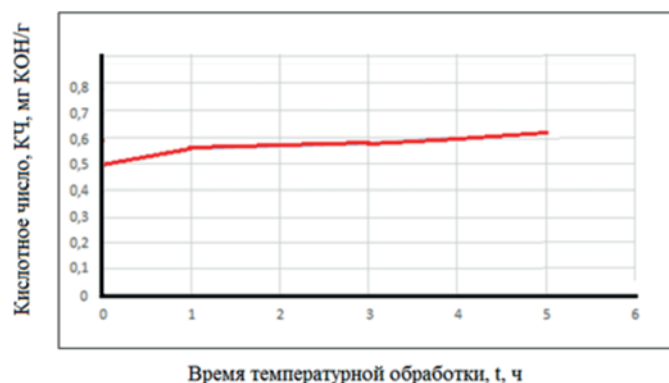


Рис. 3. Изменение кислотного числа подсолнечного масла (контроль) во время температурной обработки при 150 °С

Fig. 3. Changes in the acid value of sunflower oil (control) during heat treatment at 150 °С

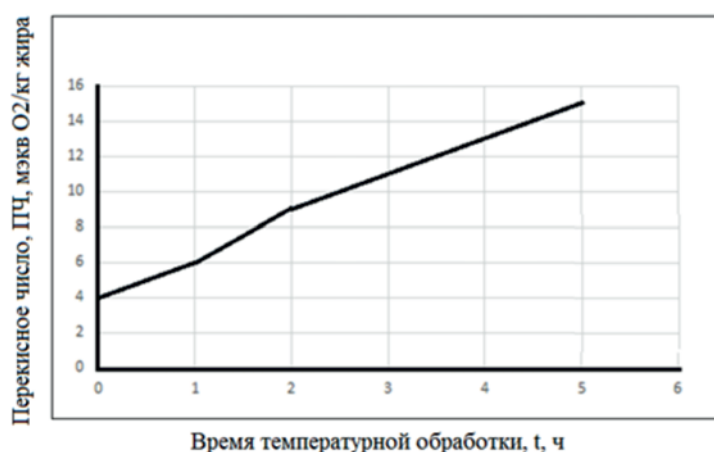


Рис. 4. Изменение перекисного числа подсолнечного масла (контроль) во время температурной обработки при 150 °С

Fig. 4. Changes in the peroxide value of sunflower oil (control) during heat treatment at 150 °С

В то же время, как показали исследования, ПЧ изменяется значительно и служит точным количественным показателем присутствия первичных продуктов окисления ненасыщенных жирных кислот в составе жиров. Так как гидроперекиси весьма нестойки и способны разлагаться, в течение всего периода использования фритюрного жира, а также при хранении фритюрных жиров наблюдается увеличение значений ПЧ до некоторого максимума и затем постепенное их снижение.

На графике (рис 2) следует обратить внимание на линию, определяющую органолептическую годность масла на уровне показателя ПЧ — 35 ммоль  $1/2$ O/кг жира. Эта величина не абсолютна и может быть установлена для внутренних нужд предприятия на основании приемлемого вкуса и внешнего вида масла, что дополнительно продлит срок применения фритюрного масла без нарушений требований к кислотному числу. Рекомендуется выбрать уровень ПЧ — 35 ммоль  $1/2$ O/кг жира, что обосновано вкусовыми качествами продукции при дегустации и литературными источниками [8], [9].

При измерении ПЧ по методикам [2], [3] наблюдается корреляция с экспресс-методиками [4] п. 5.8.1. и п. 5.8.2. При значениях перекисного числа масла выше уровня 35 ммоль  $1/2$ O/кг жира, содержание окисленных веществ во фритюре становится больше 1%, что отражается в изменении окраски тест-раствора в химическом методе экспресс-анализа [4] п. 5.8.2. При этом разница показателей преломления фритюра и исходного свежего масла также становится больше 0,001. Из этого следует, что использование данных экспресс-методик в контроле качества фритюра имеет особую важность.

**Закключение.** Таким образом, по результатам проведенных исследований установлена целесообразность измерения перекисного числа с целью контроля содержания окисленных веществ во фритюре-

ных жирах в процессе обжарки снековой продукции. на основании нашего опыта исследований рекомендуем ввести для контроля качества фритюра измерение перекисного числа и экспресс методик, контролирующих содержание окисленных веществ. Контроль данных параметров значительно улучшит качество снековой продукции, а использование антиоксидантов «Эсктрале» продлит их сроки годности и время использования фритюрного масла.

#### Список использованных источников

1. Масла растительные. Методы определения кислотного числа и кислотности: ГОСТ 31933-2012. — Введ. 01.01.2014. — М.: Стандартинформ, 2012. — 11 с.
2. Масла растительные и жиры животные. Метод определения перекисного числа: СТБ ГОСТ Р 51487-2001. — Введ. 01.01.2001. — М.: Стандартинформ, 2008. — 10 с.
3. Масла растительные. Метод определения перекисного числа: ГОСТ 26593-85. — Введ. 01.01.1986. — Москва: Стандартинформ, 1985. — 5 с.
4. Пирожки, пончики и пончики с начинкой. Общие технические условия: СТБ 985-95. — Введ. 01.10.1995. — Минск: Госстандарт: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1995. — 15 с.
5. *Стеле, Р.* Срок годности пищевых продуктов: Расчет и испытание / Р. Стеле; пер. с англ. В. Широкова; под общ. ред. Ю. Г. Базарновой. — СПб.: Профессия, 2006. — 480 с.
6. Масла растительные. Правила приемки и методы отбора проб: ГОСТ 32190-2013. — Введ. 01.07.2014. — М.: Стандартинформ, 2014. — 16 с.
7. Добавки пищевые комплексные «ЭКСТРАЛЕ»: ТУ ВУ 191466401.003-2021. — Введ. 03.12.2021. — 14 с.
8. *Гамаюрова, В. С.* Мифы и реальность в пищевой промышленности. Сравнение пищевой и биологической ценности растительных масел / В. С. Гамаюрова, Л. Э. Ржечицкая // Вестник Казанского технологического университета. — 2011. — № 18. — С. 146–156.
9. *Foster, R.* Culinary oils and their health effects / R. Foster, C.S. Williamson, J. Lunn // Journal compilation. British Nutrition Foundation Nutrition Bulletin. — 2009. — № 34. — P. 4–47.

#### Информация об авторах

*Дорофеев Андрей Георгиевич* — директор ООО «Белагролекс» (ул. Тимирязева, д. 65а, офис 543, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: [agrolex@n1.by](mailto:agrolex@n1.by)

*Чаевский Сергей Иванович* — главный технолог ООО «Белагролекс», (ул. Тимирязева 65а, офис 543, 220035, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: [tcha@inbox.ru](mailto:tcha@inbox.ru)

#### Information about the authors

*Dorofeyev Andrey Georgievich* — Director of «Belagrolex» Ltd (Timiryazeva str., 65a, office 543, 220035, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [agrolex@n1.by](mailto:agrolex@n1.by)

*Chayevsky Sergey Ivanovich* — Chief Technologist of «Belagrolex» Ltd (Timiryazeva str., 65a, office 543, 220035, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [tcha@inbox.ru](mailto:tcha@inbox.ru)

УДК 664.66.022.39:642.58

[https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-2\(56\)-85-90](https://doi.org/10.47612/2073-4794-2022-15-2(56)-85-90)

Поступила в редакцию 26.05.2022

Received 26.05.2022

**А. А. Журня<sup>1</sup>, Л. А. Мельникова<sup>2</sup>**<sup>1</sup> РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию», г. Минск, Республика Беларусь<sup>2</sup> УО «Белорусский государственный экономический университет», г. Минск, Республика Беларусь

## **РАЗРАБОТКА И ОЦЕНКА ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ СВОЙСТВ ОБОГАЩЕННЫХ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ ПИТАНИЯ ШКОЛЬНИКОВ**

**Аннотация.** Современный процесс обучения связан с интенсивными физическими, психологическими и интеллектуальными нагрузками, в связи с чем, требования к школьному питанию, как источнику жизненно важных микронутриентов с каждым годом возрастают. Особое место в рационе питания школьников занимают хлебобулочные изделия. В статье представлены результаты исследований по разработке технологии обогащённых хлебобулочных изделий «Раница» и «Юность» для питания детей школьного возраста и оценка их потребительских свойств. Показана возможность восполнения дефицита микронутриентов у школьников за счет использования в рационах питания данных хлебобулочных изделий. Приведены изменения показателей качества обогащенных хлебобулочных изделий в процессе хранения.

**Ключевые слова:** обогащенные хлебобулочные изделия, школьное питание, потребительские свойства, органолептические показатели, физико-химические показатели, процесс хранения.

**Н. А. Zhurnia<sup>1</sup> L. A. Melnikova<sup>2</sup>**<sup>1</sup> RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus”, Minsk, Republic of Belarus<sup>2</sup> Belarusian state University of Economics, Minsk, Republic of Belarus

## **DEVELOPMENT AND EVALUATION OF CONSUMER PROPERTIES OF ENRICHED BAKERY PRODUCTS FOR THE NUTRITION OF SCHOOLCHILDREN**

**Abstract.** The modern learning process is associated with intense physical, psychological and intellectual stress, and therefore the requirements for school meals, as a source of vital micronutrients, are increasing every year. Bakery products occupy a special place in the diet of schoolchildren. The article presents the results of research on the development of the technology of enriched bakery products «Ranitsa» and «Youth» for the nutrition of school-age children and an assessment of their consumer properties. The possibility of filling the deficiency of micronutrients in schoolchildren through the use of these bakery products in the diet is shown. Changes in the quality indicators of enriched bakery products during storage are given.

**Keywords:** enriched bakery products, school meals, consumer properties, organoleptic indicators, physical and chemical indicators, storage process.

**Введение.** Одним из основных факторов, влияющих на гармоничный рост и адекватное функционирование различных органов и систем детского организма, является полноценное сбалансированное питание [1]. Именно в детском возрасте закладывается фундамент здоровья для взрослого населения, поэтому обеспечение подрастающего поколения качественным, физиологически полноценным и безопасным питанием является важнейшей государственной задачей [2].

Интенсивное физическое развитие школьников в сочетании с усиленной психологической нагрузкой, а так же напряженностью процессов обучения создают особые требования к школьному питанию, как к источнику жизненно важных микронутриентов [1, 2].

В последние годы ведется активная политика в области улучшения питания детей, однако, проблема его неполноценности продолжает оставаться достаточно актуальной.

Проведенные специалистами РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по продовольствию» исследования подтвердили, что фактическое организованный питание детей школьного возраста является физиологически неполноценным и характеризуется дефицитом необходимых для

растущего организма микронутриентов, особенно минеральных веществ—кальция, магния, а также витаминов А, Е и D [3].

Одним из путей решения этой проблемы является создание функциональных пищевых продуктов, обеспечивающих полноценное и регулярное снабжение детского организма жизненно необходимыми микро- и макронутриентами. Для поддержания здоровья активно растущего молодого организма особенно важно обогащение нутриентами продуктов массового потребления [4, 5].

Изучение потребительских предпочтений учащихся показало, что из предложенного ассортимента продукции в школьных пунктах питания, хлебобулочные изделия пользуются максимальным спросом, что делает эту группу товаров наиболее перспективной для обогащения [6]. Обогащение пищевых продуктов не должно ухудшать потребительские свойства этих продуктов: уменьшать содержание и усвояемость других содержащихся в них пищевых веществ, существенно изменять вкус, аромат, свежесть продуктов, сокращать сроки их хранения [7].

Учитывая вышеизложенное специалистами РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по продовольствию» были разработаны обогащённые хлебобулочные изделия «Раница» и «Юность» для коррекции структуры питания школьников и проведена оценка их потребительских свойств.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Для обогащения хлебобулочных изделий использовали обогатительные добавки «Раница» и «Юность», разработанные специалистами РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по продовольствию» совместно с УП «Унитехпром БГУ». Компонентный состав представлен в табл. 1.

Таблица 1. Компонентный состав обогатительных добавок  
Table 1. Component composition of enrichment substances

Наименование обогатительной добавки	Состав обогатительной добавки
«Раница»	Мука пшеничная, мука овсяная, порошок из моркови сушенной, карбонат кальция, оксид магния, препарат витамина Е (50%), препарат витамина А (9,75%), препарат витамина D (0,25%)
«Юность»	Мука пшеничная, мука овсяная, мука гречневая, порошок из сушенной моркови, карбонат кальция, оксид магния, препарат витамина Е (50%), препарат витамина А (9,75%)

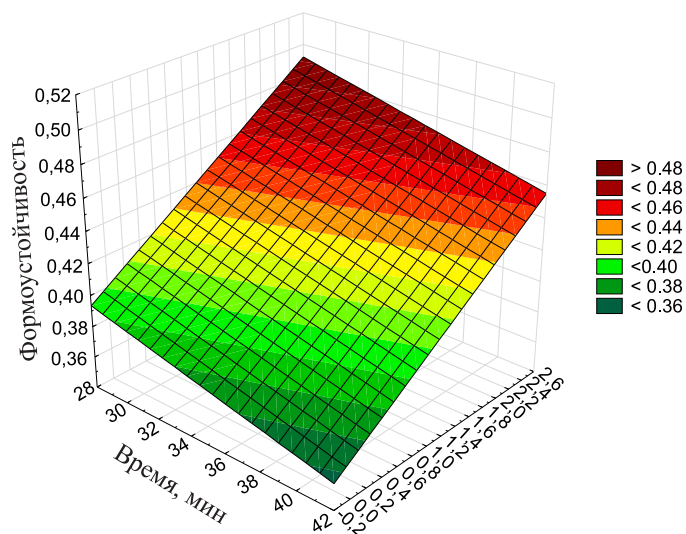
Разработка рецептур и технологии обогащенных хлебобулочных изделий основывается на получении продуктов, обладающих хорошими органолептическими и оптимальными физико-химическими показателями [7]. Для определения оптимальной дозировки обогатительных добавок были проведены исследования их влияния на хлебопекарные свойства муки пшеничной высшего сорта, реологические характеристики теста и ведение технологического процесса.

В результате проведенных исследований установлено, что введение в рецептуру хлебобулочных изделий обогатительных добавок в количестве до 2,5 % увеличивает газодерживающую способность теста и повышает активность амилитического комплекса пшеничной муки, вследствие чего было решено сократить время расстойки полуфабрикатов.

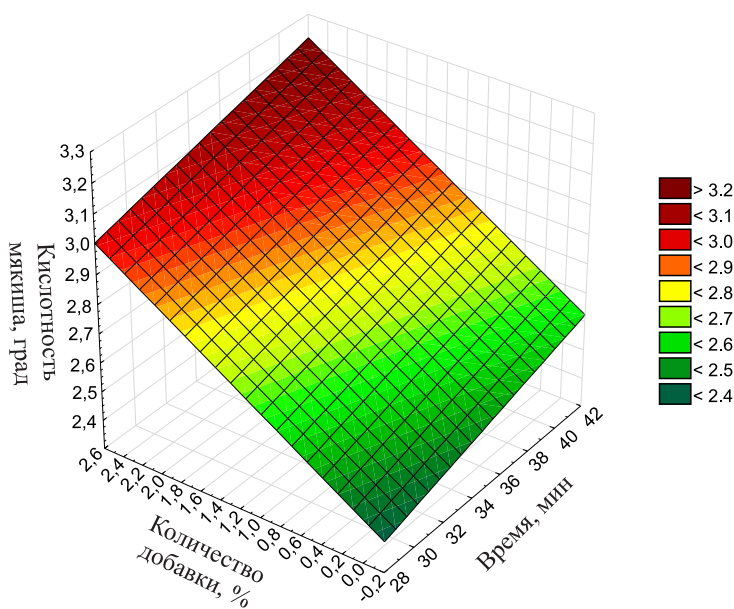
При выборе способа тестоведения выпечку изделий проводили опарным и безопарным способом. Полученные результаты показали, что внесение обогатительных добавок «Раница» и «Юность» в количестве 1,5–2,5 % снижает удельный объем хлеба на 0,8–4,0 % и 0,5–4,5 % соответственно при любых способах приготовления теста, а формоустойчивость изделий увеличивается на 2,5–17,8 % и 2,5–23,1 % соответственно по сравнению с контрольным образцом. Кроме того, с увеличением дозировок добавок и продолжительности расстойки полуфабрикатов заметно увеличивалась кислотность хлебобулочных изделий. Наименьшие показатели кислотности имели изделия, приготовленные безопарным способом.

Целью получения модели для прогнозирования величин формоустойчивости изделий и кислотности мякиша была проведена математическая обработка влияния времени расстойки полуфабрикатов и дозировки обогатительных добавок на эти показатели. В результате получены регрессионные уравнения, адекватно описывающие влияние дозировки обогатительных добавок и времени расстойки полуфабрикатов на показатели «формоустойчивость изделий» и «кислотность мякиша», изготовленных опарным и безопарным способом. На рис. 1 представлена графическая интерпретация изменения формоустойчивости и кислотности при различных дозировках обогатительной добавки «Юность» и времени расстойки тестовых заготовок, приготовленных опарным способом.

По результатам экспериментальных выпечек установлено, что для получения хлебобулочных изделий, обладающих хорошими органолептическими и физико-химическими показателями, дозировка обогатительных добавок «Раница» и «Юность» составляет 1,5 % к массе муки, время расстойки полуфабрикатов — 30–35 мин.



а) формоустойчивость



б) кислотность мякиша

Рис. 1. Зависимость формоустойчивости и кислотности мякиша от времени расстойки полуфабрикатов и дозировки обогатительной добавки «Юнонь» для производства хлебулочных изделий опарным способом

Fig. 1. The dependence of the shape stability and acidity of the crumb on the proofing time of semi-finished products and dosages of enrichment additive “Yunost” for the production of bakery products by the sponge method

В производственных условиях филиала «Молодечненский хлебозавод» ОАО «Борисовхлебпром» проведена отработка технологических режимов производства, а также выработка опытно-промышленных партий хлебулочных изделий по рецептурам, разработанным на основании экспериментальных работ. Рецептурный состав хлебулочных изделий представлен в табл. 2.

Изготовленные изделия исследовали по показателям качества и безопасности.

В хлебулочных изделиях определяли: массовую долю влаги, кислотность мякиша, массовую долю жира, массовую долю сахара, токсичные элементы (свинец, мышьяк, кадмий, ртуть), пестициды (ГХЦГ, ДДТ и его метаболиты, алдрин, гептахлор, афлатоксин В1), радиоактивные элементы (цезий-137, стронций-90), а также микробиологические показатели (КМАФАнМ, БГКП, патогенные микроорганизмы, в т.ч. сальмонеллы, дрожжи и плесневые грибы).

Таблица 2. Рецептурный состав хлебобулочных изделий «Юность» и «Раница» на 100 кг муки  
Table 2. Recipe composition of bakery products «Youth» and «Ranitsa» per 100 kg of flour

Наименование сырья	Соотношение частей сырья по массе на 100 кг муки, кг	
	«Юность»	«Раница»
Мука пшеничная высшего сорта М 54–28	100,0	100,0
Дрожжи хлебопекарные прессованные	2,20	3,50
Соль поваренная пищевая йодированная	1,10	1,30
Творог 9 % жирности	24,0	-
Сахар белый кристаллический	15,00	9,00
Масло сливочное	3,00	7,00
Сметана 25 %	2,00	-
Добавка обогатительная «Юность»	1,60	-
Добавка обогатительная «Раница»	-	1,60
Молоко сухое обезжиренное	-	4,00
Яйца куриные пищевые	-	4,00
Корица	-	1,10
Пудра сахарная	-	1,10
Масло подсолнечное рафинированное дезодорированное	-	2,50
ИТОГО:	148,9	135,1

Результаты анализа показали, что хлебобулочные изделия «Юность» и «Раница» соответствуют требованиям ТНПА по всем исследуемым показателям.

Органолептические показатели хлебобулочных изделий «Раница» и «Юность» представлены в табл. 3.

Таблица 3. Органолептические показатели булочек «Юность» и «Раница»  
Table 3. Organoleptic characteristics of buns «Youth» and «Ranitsa»

Наименование показателя	Характеристика
Внешний вид: - форма	Округлая, не расплывчатая, без притисков и вмятин
- поверхность	Булочки «Раница»: гладкая, без крупных трещин и подрывов, с открытой или закрытой начинкой, без загрязнений, отделана сахарной пудрой Булочки «Юность»: гладкая, с открытой начинкой
- цвет	О светло-желтого до коричневого, без подгорелостей
Состояние мякиша: - пропеченность - пористость - промес	Пропеченный, эластичный, не влажный на ощупь Равномерно развитая, без пустот и уплотнений Без комочков и следов непромеса
Вкус и запах	Без посторонних привкуса и запаха, для булочки «Раница» с легким ароматом корицы
Состояние начинки	Для булочки «Юность» Однородная масса, без посторонних включений

Кроме того, в полученных изделиях определяли физиологически ценные пищевые вещества и их долю от суточной потребности для детей школьного возраста (табл. 4).

Результаты исследований показали, что полученные хлебобулочные изделия по степени удовлетворения суточной потребности школьников в микронутриентах, обладают повышенной пищевой ценностью: в 150 г булочки «Раница» содержится кальция от 15 до 17 %, магния от 31 до 49 %, витамина А от 30 до 44 % и витамина Е от 33 до 50 % от нормы физиологической потребности в сутки для детей школьного возраста. В 150 г булочки «Юность» содержится: кальция от 22 до 25 %, магния от 29 до 47 %, витамина А от 30 до 43 %, витамина Е от 33 до 48 % и витамина D — 9,6 % от нормы физиологической потребности в сутки для детей школьного возраста.

Одним из главных потребительских свойств является свежесть хлебобулочных изделий. В процессе хранения изделий наблюдается снижение их качества, связанное с процессами усыхания и черствения, которые сопровождаются потерей влаги мякишем и физико-коллоидным процессом, связанным, в первую очередь, со старением крахмала. В результате чего ухудшаются свойственные свежим изделиям вкус и аромат, происходит потеря блеска корки [7, 8]. Одновременно с изменениями органолептических показателей происходит изменения и физических свойств мякиша: повышается его крошковатость, снижается эластичность.



Таблица 4. Степень удовлетворения суточной потребности школьников в нутриентах  
Table 4. The degree of satisfaction of the daily need of schoolchildren in nutrients

Показатель	Степень удовлетворения суточной потребности в нутриентах, %				
	7-11 лет	11-14 лет		14-18 лет	
		мальчики	девочки	юноши	девушки
Хлебобулочное изделие «Раница», 150 г					
Ca, мг	17	15	15	15	15
Mg, мг	49	41	41	31	31
A, мкг	44	30	38	30	38
E, мг	50	42	42	33	33
Хлебобулочное изделие «Юность», 150 г					
Ca, мг	25	22	22	22	22
Mg, мг	47	39	39	29	29
A, мкг	43	30	37	30	37
E, мг	48	40	40	33	33
D, мкг	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6

В ходе данной работы изучали изменения органолептических показателей и структурно-механических свойств мякиша обогащенных хлебобулочных изделий «Раница» и «Юность» в процессе хранения.

Для этого часть образцов хлебобулочных изделий после их остывания (через 4 ч после выпечки) подвергали анализу, остальные упаковывали в полипропиленовую пленку и оставляли на хранение при комнатной температуре в течение 72 ч.

Оценку органолептических показателей проводили унифицированным балльным методом через 4, 24, 48 и 72 ч после выпечки, для чего была сформирована группа экспертов в количестве 9 человек. Органолептические свойства оценивали по 5-балльной дифференцированной шкале по следующим показателям: форма, поверхность, состояние мякиша, цвет, вкус и запах. В ходе ранжирования наиболее значимыми показателями хлебобулочных изделий экспертами были выделены следующие: состояние мякиша, вкус и запах. По результатам анализа оценок экспертов, для каждого образца рассчитывали сумму баллов, средний арифметический балл оценки единичных показателей и комплексный показатель качества с учетом коэффициентов весомости.

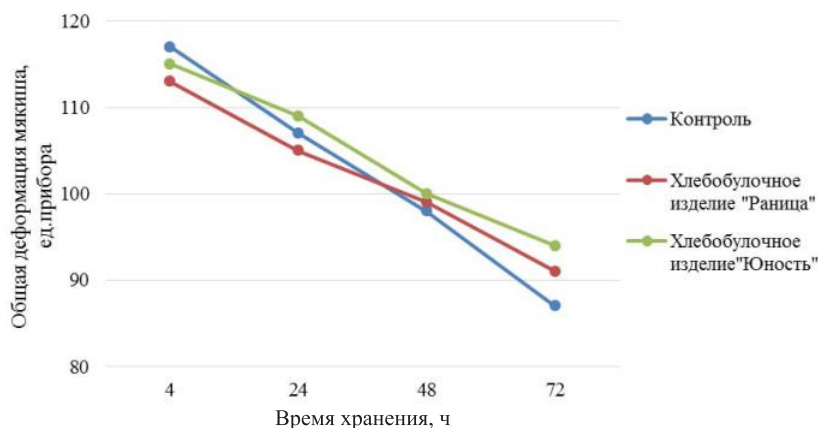


Рис. 2. Изменение структурно-механических свойств мякиша в процессе хранения  
Fig. 2. Changes in the structural and mechanical properties of the crumb during storage

В результате установлено, что через 24 ч после выпечки средний балл по всем органолептическим показателям снижается у контрольного образца на 19,4 %, хлебобулочного изделия «Раница» на 6,1%, хлебобулочного изделия «Юность» на 5,4 %.

Кроме того, комплексный показатель качества обогащенных хлебобулочных изделий, хранившихся в течении 72 ч, был выше данного показателя контрольного образца хлебобулочных изделий хранившихся 48 ч. Снижение комплексного показателя качества у контрольного образца через 72 ч хранения составило 50,7 %, у хлебобулочного изделия «Раница» — 31,5 %, для хлебобулочного изделия «Юность» — 32,7 %.

Полученные данные говорят о том, что потеря свежести более интенсивно протекала у контрольных образцов хлебобулочных изделий, по сравнению с обогащенными хлебобулочными изделиями «Юность» и «Раница».

Анализ изменения структурно-механических свойств мякиша, представленных на рис. 2 показал, что общая деформация сжатия мякиша у обогащенных хлебобулочных изделий выше в течение всего срока хранения по сравнению с указанным показателем для контрольных образцов изделий.

Через 72 ч хранения общая деформация сжатия мякиша снижается на 25,6 % для контрольного образца, на 19,4 % у хлебобулочного изделия «Раница» и на 18,2 % для хлебобулочного изделия «Юность». Полученные результаты свидетельствуют о том, что обогащенные хлебобулочные изделия «Раница» и «Юность» дольше сохраняют свои потребительские свойства в процессе хранения.

**Заключение.** На основании комплекса выполненных исследований разработана технология и проведена оценка качества, безопасности и пищевой ценности обогащенных хлебобулочных изделий «Раница» и «Юность». Установлено, что хлебобулочные изделия, выработанные по разработанным рецептурам и технологическим режимам, имеют высокие органолептические и физико-химические показатели качества, по гигиеническим показателям безопасности соответствуют предъявляемым требованиям, а так же более длительное время сохраняют свежесть. Хлебобулочные изделия «Юность» и «Раница» можно позиционировать, как обогащенные пищевые продукты, обладающие повышенной пищевой ценностью, так как в их составе присутствуют минеральные вещества — кальций, магний и витамины А, Е, Д в количестве от 9,6 % до 50 % от суточной потребности в них детей школьного возраста.

#### Список использованных источников

10. *Теплов, В. И.* Физиология питания [текст]: учеб. пособие / В. И. Теплов, В. Е. Боряев. — М.: Дашков и Ко, 2006. — 452 с.
11. *Михалюк, Н. С.* Возрастные особенности питания детей / Н.С. Михалюк // Вопросы питания. — 2005. — Т.74, №2. — С.33–35.
12. *Плоскирева, А. А.* Нутритивные подходы к коррекции микроэлементного статуса у детей / А.А. Плоскирева // Вопросы современной педиатрии. — 2011. — Т.10, №2. — С.141–144.
13. *Мельникова, Л. А.* Оценка фактического питания школьников г. Минска / Л. А. Мельникова, А. А. Журня, Т. С. Борисова // Инновационные технологии в пищевой промышленности: материалы ХУ Междунар. науч.-практ. конф. Минск, 5–6 октября 2016 г. / РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»: редкол. : З.В. Ловкис [и др.] — Минск: ИВЦ Минфина, 2016. — С. 206–208.
14. *Спиричев, В. Б.* Обогащение пищевых продуктов микронутриентами — надежный путь оптимизации их потребления / В. Б. Спиричев, В. В. Трихина, В. М. Поздняковский // Ползуновский вестник. — 2012. — № 2/2. — С. 9–15.
15. *Мельникова, Л. А.* Анализ потребительских предпочтений детей школьного возраста при выборе продуктов питания в школьных буфетах и столовых / Л. А. Мельникова, А. А. Журня // Пищевая промышленность: наука и технологии. — 2018. — № 1(39). — С. 29–41.
16. *Смирнова, Е. А.* Теоретические и практические аспекты разработки пищевых продуктов, обогащенных эссенциальными нутриентами / Е. А. Смирнова, А. А. Кочеткова, В. М. Воробьева, И. С. Воробьева // Пищевая промышленность. — 2012. — № 11. — С. 8–12.
17. *Корячкина, С. Я.* Методы исследования качества хлебобулочных изделий: учебно-методическое пособие для вузов / С. Я. Корячкина, Н. А. Березина, Е. В. Хмелева. — Орел: ОрелГТУ, 2010. — 166 с.

#### Информация об авторах

*Журня Анна Александровна* — научный сотрудник отдела питания РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь) E-mail: otpit@tut.by.

*Мельникова Людмила Александровна* — кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры товароведения и экспертизы товаров УО «Белорусский государственный экономический университет» (г. Минск, пр-т Партизанский, 26). E-mail: la\_mel75@mail.ru

#### Information about authors

*Zhurnia Hanna Alexandrovna* — Researcher of the Nutrition Department of RUE “Scientific and Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29 Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus) E-mail: otpit@tut.by

*Melnikova Ludmila Alexandrovna* — PhD (Biology) Associate Professor of the Department of Commodity Science and Expertise of Goods of the Belarusian State Economic University (Minsk, Partizansky Ave., 26). E-mail: la\_mel75@mail.ru