

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 16

№3(61)

2023

**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 20.09.2023.

Формат 60×84/8. Бумага офсетная.

Гарнитура NewtonC. Печать офсетная.

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

Тираж 100 экз. Заказ 301.

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 ведомственных подписчиков 012412



FOOD INDUSTRY: SCIENCE AND TECHNOLOGIES

Vol. 16, №3(61) 2023

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:

Meleschenya Aleksey Viktorovich – Deputy Editor-in-Chief, 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

Akulich Alexandr Vasilyevich – 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 Natalya Sergeevna – director of the research and production republican subsidiary unitary enterprise "Beltekhnokhleb", PhD of Technical Sciences (with her consent)

Lisitsin Andrey Borisovich – Scientific Director of the Federal State Budgetary Scientific Institution "V.M. Gorbatov Federal Scientific Center for Food Systems", Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor (with his consent)

Morgunova Elena Mikhailovna – 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 (with her consent)

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 Tatyana 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)

Shepshelev Alexandr Anatolyevich – Director of the State Scientific Institution "Institute of Microbiology of the National Academy of Sciences of Belarus", PhD of Technical Sciences, Associate Professor (with his consent)

Mironova Natalya Pavlovna – executive editor, Head of the Professional Development Center 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. 16
№3(61)
2023

**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

Printed at UE "IVC Minfina"
It is sent of the press 20.09.2023
Format 60x84/8. Offset paper.
NewtonC type. Offset printing.
Printed pages 11,16.
Publisher's signatures 12,80.
Circulation 100 copies. Order 301.
LP № 02330/89 of 3 March 2014
17, Kalvaryiskaya str., Minsk 220004

Subscription indexes
For individuals 01241
For legal entities 012412

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)

СОДЕРЖАНИЕ

Почицкая И. М., Ловкис З. В. Контроль качества и подлинности винодельческой продукции в Республике Беларусь	6
Маслинская М. Е., Почицкая И. М., Комарова Н. В. Влияние метеорологических условий года на изменение химического состава семян льна масличного	11
Никитенко А. Н., Мазур А. М., Синило А. А., Клыпутенко М. А. Исследование влияния технологических параметров переработки фруктового сырья на изменения содержания фенольных веществ	19
Самуйленко Т. Д. Исследование биотехнологических свойств заквашенной заварки с использованием нетрадиционных сырьевых компонентов	27
Каманова С. Г., Темирова И. Ж., Альдиева А. Б., Оспанкулова Г. Х. Влияние сублимационной сушки на органолептические свойства и химический состав ягод голубики	36
Кулагова Е. П., Пушкарь А. А. Глубокая переработка вторичных сырьевых ресурсов в винодельческой отрасли с получением яблочного дистиллята	42
Трусова М. М. Определение возможности применения хитозана в технологии винодельческой продукции	54
Рябова К. С., Почицкая И. М., Шолохова О. В., Авдюк Е. Г. Изучение удельной активности радионуклидов цезия-137 и стронция-90 в растительном сырье при изготовлении отваров	62
Шачек Т. М., Протасеня Л. Н., Зеленкова Е. Н. Применение натурального красителя бетанина в производстве косметической продукции	67
Груданов В. Я., Бренч А. А., Торган А. Б., Дацук И. Е., Зеленко С. А., Атрощик М. Д. Повышение качества и эффективности процесса тонкого измельчения мясного сырья на основе обоснования геометрических, конструктивных и гидравлических параметров режущего механизма эмульгатора	79
Леонович И. С., Раицкий Г. Е. Недостатки распылительной сушки молочных продуктов и пути снижения их влияния	89

CONTENTS

Pochitskaya I. M., Lovkis Z. V. Quality control and authenticity of wine products In the Republic of Belarus	6
Maslinskaya M. E., Pochitskaya I. M., Komarova N. V. Influence of meteorological conditions of the year on changes in the chemical composition of linseed seeds	11
Nikitenko A. N., Mazyr A. M., Sinilo A. A., Klyputenko M. A. Investigation of the influence of technological parameters of raw fruit processing on changes in the content of phenolic substances.....	19
Samuylenko T. D. Research of biotechnological properties of thermophilic sourdough using non-traditional raw materials components	27
Kamanova S. G., Temirova I. Zh., Aldiyeva A. B., Ospankulova G .Kh. The effect of freeze-drying on the organoleptic properties and chemical composition of blueberries.....	36
Kulagova E. P., Pushkar A. A. Deep processing of secondary raw resources in the wine-making industry with obtaining apple distillate.....	42
Trusova M. M. Determination of the possibility of application of chitosan in the technology of wine products.....	54
Ryabova K. S., Pochiskaya I. M., Sholohova O. V., Avdiuk E. G. Studying the specific activity of cesium-137 and strontium-90 radionuclides in plant raw materials in the manufacture of decoctions.....	62
Shachek T. M., Protasenya L. N., Zelenkova E. N. Applications of plant-derived colorant betanin in the coloration of cosmetics.....	67
Grudanov V. Ya., Brench A. A., Torgan A .B., Datsuk I. E., Zelenko S. A., Atroshchyk M. D. Improving the quality and efficiency of the business progress of thin grinding of raw meat on the basis of substantiation of the geometric structural and hydraulic parameters of the cutting mechanism of the emulsifier.....	79
Leonovich I. S., Raitsky G. E. Disadvantages of spray drying of dairy products and ways to reduce their influence.....	89

УДК 663.258.8(476)

Поступила в редакцию 24.06.2023
Received 24.06.2023**И. М. Почицкая, З. В. Ловкис***РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси
по продовольствию», г. Минск, Республика Беларусь***КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И ПОДЛИННОСТИ ВИНОДЕЛЬЧЕСКОЙ
ПРОДУКЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

Аннотация. Алкогольная продукция относится к наиболее востребованной и часто подвергаемой фальсификации группе продуктов питания. Решение проблемы повышения эффективности контроля качества винодельческой продукции требует постоянного совершенствования существующих и разработки новых методик, позволяющих проводить идентификацию и выявлять фальсификацию. Целью исследований являлось установление наиболее значимых критериев и разработка методик для расширения спектра контролируемых показателей качества и подлинности винодельческой продукции. На основе применения хроматографического метода были разработаны методики определения следующих показателей, формирующих качество и органолептические свойства виноградных и плодовых вин: сахаров, органических кислот, ароматобразующего компонента метилантранилата, растворителя ароматизаторов триацетина, мальвидин дигликозида, синтетических красителей. Качество и подлинность коньячной продукции предложено осуществлять с помощью контроля дополнительных показателей: содержание ванилина, оптическая плотность, дубильные вещества, общий и приведенный экстракт. Контроль качества и подлинности виноградных и плодовых вин, коньяков и коньячных спиртов проводился с 2003 по 2020 годы. Представлены результаты многолетнего мониторинга качества винодельческой продукции. Показано, что применение разработанных методик контроля позволило существенно снизить уровень фальсификации и предотвратить поступление на рынок Республики Беларусь некачественной и фальсифицированной продукции.

Ключевые слова: качество, подлинность, контроль, винодельческая продукция, методики исследования, хроматографический анализ.

I. M. Pochitskaya, Z. V. Lovkis*RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus”,
Minsk, Republic of Belarus***QUALITY CONTROL AND AUTHENTICITY OF WINE PRODUCTS
IN THE REPUBLIC OF BELARUS**

Abstract. Alcoholic beverages are one of the most demanded and frequently falsified group of food products. Solving the problem of increasing the efficiency of quality control of wine products requires constant improvement of existing and development of new methods that allow identification and detection of falsification. The purpose of the research was to establish the most significant criteria and develop methods for expanding the range of controlled indicators of quality and authenticity of wine products. Methods were developed for determining the indicators that form the quality and organoleptic properties of grape and fruit wines: sugars, organic acids, the aroma-forming component of methyl anthranilate, triacetin flavoring solvent, malvidin diglycoside, synthetic dyes based on the use of the chromatographic method. The quality and authenticity of cognac products are proposed to be carried out by monitoring additional indicators: vanillin content, optical density, tannins, total and reduced extract. Quality control and authenticity of grape and fruit wines, cognacs and cognac spirits was carried out from 2003 to 2020. The results of long-term monitoring of the quality of wine products are presented. It is shown that the application of the developed control methods allowed to significantly reduce the level of falsification and prevent low-quality and falsified products from entering the market of the Republic of Belarus.

Keywords: quality, authenticity, control, wine products, research methods, chromatographic analysis.

Введение. Винодельческая продукция традиционно пользуется повышенным спросом. Широкий и разнообразный ассортимент такой продукции на рынке зачастую сопровождается фальсификацией.

Проведение контроля нормируемых показателей недостаточно для идентификации и подтверждения подлинности винодельческой продукции, в частности виноградных и плодовых вин и коньяков.

В этой связи актуальным является расширение спектра контролируемых показателей, позволяющих установить подлинность и выявить фальсификации винодельческой продукции, представленной на рынке Республики Беларусь.

Анализ применяемых в мировой практике подходов к контролю качества винодельческой продукции позволил расширить спектр показателей, подтверждающих натуральность и подлинность. Была установлена необходимость контроля ряда показателей, формирующих качество и органолептические свойства виноградных и плодовых вин: вкус — определение сахаров и органических кислот; цвет — добавление синтетических красителей; аромат — определение ароматобразующего компонента метилантранилата и растворителя ароматизаторов — триацетина; чистосортности происхождения винограда — определение мальвидин дигликозида.

Определение органических кислот и сахаров в винодельческой продукции проводят методами капиллярного электрофореза, инфракрасной спектроскопии с Фурье преобразованием, колориметрическим, хроматографическими [1–5].

Для определения содержания синтетических красителей применяются следующие методы: фиксации на шерсти, спектрофотометрии, хроматографии и др. [6–8].

Наиболее современными методами определения содержания ароматизирующих летучих соединений и их идентификации в винах являются методы газовой хроматографии-масс-спектрометрии (ГХ-МС), газовой хроматографии с пламенно-ионизационным детектированием (GC-FID). Представленные методы включают жидкостно-жидкостную экстракцию (ЖЖЭ), твердофазную экстракцию (ТФЭ), твердофазную микроэкстракцию (ТФМЭ), сорбционную экстракцию на мешалке (SBSE) и тонкопленочную твердофазную микроэкстракцию (TF-SPME) [9–11].

Важным идентификационным компонентом видового происхождения винограда и продукции из него является содержание пигмента мальвидин-3,5-дигликозид, который характерен для вида *Vitis labrusca*, а также межвидовых гибридов [12].

Для определения фенольных соединений применяются различные методы: спектрометрический, флуориметрический, методы высокоэффективной жидкостной хроматографии, совместное использование ВЭЖХ и масс-спектрометрии и др. [13–15].

На основе комплексного исследования физико-химических свойств и компонентного состава коньячных изделий установлены показатели подлинности (*содержание дубильных соединений, оптическая плотность, общий и приведенный экстракт, ванилин*), которые формируются в результате контакта с древесиной дуба, и могут служить индикаторами качества и [16–18].

С целью установления эффективности применения разработанных методик проводился многолетний мониторинг контроля качества винодельческой продукции, представленной на рынке Республики Беларусь.

Материалы и методы исследований. Объектами исследований служили виноградные и плодовые вина, коньяки, представленные на рынке Республики Беларусь.

Для контроля показателей подлинности и выявления фальсификации винодельческой продукции применялись разработанные и усовершенствованные методики выполнения измерений.

Определение сахаров (фруктоза, глюкоза, сахароза) винах и виноматериалах, винных напитках проводили методом высокоэффективной хроматографии по МВИ. МН 2738–2007 (виноградные), по МВИ. МН 2842–2008 (плодовые); органических кислот по МВИ. МН 2769–2007 (виноградные), по МВИ. МН 2843–2008 (плодовые).

Контроль ароматизаторов осуществляли методом газовой хроматографии с масс-селективным детектированием по МВИ. МН 2914–2008 (растворитель ароматобразующих веществ триацетин) в диапазоне 0,10–20,00 мг/дм³; по МВИ. МН 2913–2008 (компонент ароматизаторов метилантранилат) в диапазоне 0,10–1,0 мг/дм³.

Установление чистосортности происхождения проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии по МВИ. МН 3690–2010 (мальвидин-3,5-дигликозид) в диапазоне 0,10–1,0 мг/дм³.

Определение содержания синтетических красителей осуществляли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии по МВИ. МН 2878-2008 (Е 104 хинолиновый желтый, Е 102 тартазин, Е 110 желтый «Солнечный закат», Е 123 амарант, Е 129 красный очаровательный АС, Е 128 красный 2G, Е 124 понсо 4R, Е 122 азорубин) в диапазоне от 5,0 до 100,0 мг/дм³.

Для установления подлинности коньяка и коньячных спиртов определяли следующие показатели:

- ♦ ванилин (по МВИ. МН 2666-2007 спектрофотометрическим методом в диапазоне от 3 до 25 мг/дм³);
- ♦ дубильные вещества (по МВИ. МН 2667-2007 титриметрическим методом в диапазоне от 0,1 до 0,8 г/дм³);
- ♦ оптическую плотность (по МВИ. МН 2668-2007 спектрометрическим методом в диапазоне от 0,3 до 1,2);
- ♦ общий и приведенный экстракт (по МВИ. МН 2669-2007 термогравиметрическим методом в диапазоне от 7 до 34 г/дм³);
- ♦ сложные эфиры (по МВИ. МН 4232-2012 методом газовой хроматографии в диапазоне концентраций — этилацетата от 12,50 до 500,00 мг/дм³, метилацетата, этилпропионата, этилбутирата, изобутилацетата, этилвалерата, этилвалерата, изоамилацетата, этилкапроата, этилкаприлата, этилкапрата в диапазоне от 0,50 до 20,00 мг/дм³);
- ♦ 2- бутанол (по МВИ. МН 3634-2010 методом газовой хроматографии в диапазоне концентраций от 0,50 до 10,00 мг/дм³).

Результаты исследований и их обсуждение. Для защиты рынка республики от некачественной и фальсифицированной продукции был проведен анализ применяемых в мировой практике подходов к контролю качества винодельческой продукции, который позволил выявить необходимость определения более широкого спектра показателей, обеспечивающих их натуральность и подлинность.

За период с 2003 по 2020 годы было испытано 42 952 образцов алкогольной продукции, в том числе 26 285 виноградных и 10 196 плодовых вин, 6 471 коньячной продукции. Установлено 3 907 случаев фальсификации, из них 1 638 составили виноградные вина и винома- териалы, 798 — плодовые вина, 1 471 коньяки и коньячные спирты (рис. 1).

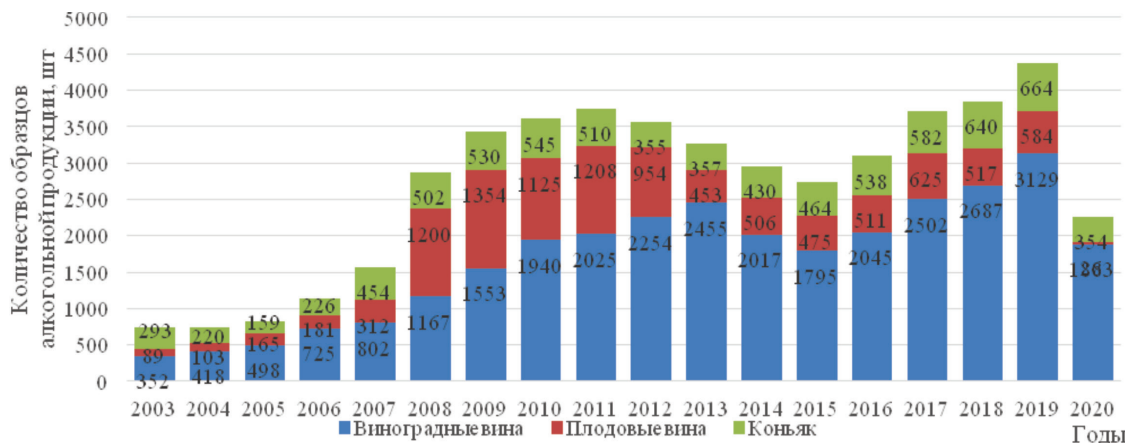


Рис. 1. Количество исследованных образцов алкогольной продукции за период 2003-2020 годы
Fig. 1. Number of studied samples of alcoholic products for the period 2003-2020

Контроль винодельческой продукции с использованием разработанных методик выполнения измерений по показателям, рекомендуемым для дополнительного анализа продукции, позволил установить значительное количество случаев несоответствия (рис. 2).

Затем постепенно наблюдается снижение количества забракованных образцов, которое в течение примерно пяти лет снижается практически до нуля. В последние годы бывают случаи несоответствия по наличию триацетина и повышенного содержания лимонной кислоты. По остальным показателям несоответствия отсутствуют.

Были установлены несоответствия подлинности по показателям, позволяющим осуществлять контроль винодельческой продукции (рис. 3).

Выявленные, с применением разработанных методик выполнения измерений, несоответствия можно расположить в следующем ряду убывания: превышение содержания лимонной кислоты и яблочной кислот, наличие содержания сахарозы выше нормы, наличие синтети-

ческих красителей, присутствие растворителя ароматизаторов триацетина и ароматобразующего соединения метилантранилата в винах, содержание мальвидин-3,5-дигликозида в количестве более 15 мг/л, который служит специфическим маркером межвидовых гибридов и сортовой чистоты винограда европейских сортов (вид *Vitis vinifera*)

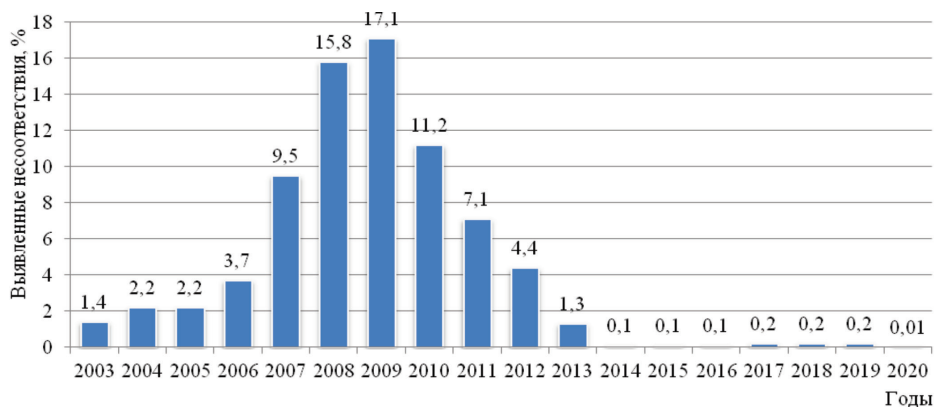


Рис. 2. Количество забракованных виноградных и плодовых вин
Fig. 2. Number of rejected grape and fruit wines

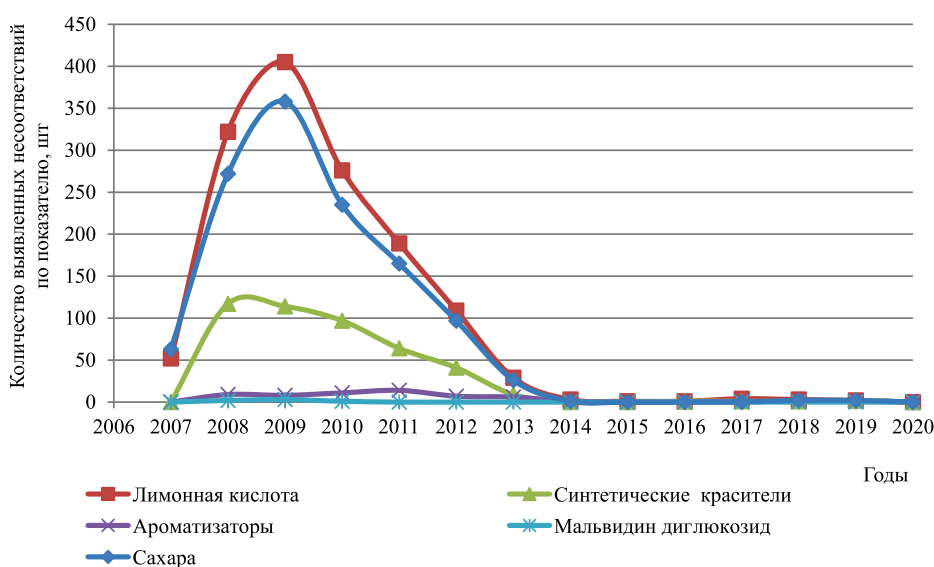


Рис. 3. Выявленные несоответствия винодельческой продукции за 2006-2022 гг.
Fig. 3. Identified inconsistencies in wine products for 2006-2022

Закключение. Разработанные методики внедрены в 32 испытательных лабораториях, в том числе 7 Центрах стандартизации, метрологии и сертификации и 8 Центрах гигиены, что позволяет более объективно проводить оценку качества винодельческой продукции, устанавливать подлинность, выявлять фальсификацию. Предложенные для контроля подлинности коньяков и коньячных спиртов дополнительные показатели — дубильные вещества и приведенный экстракт, внесены в стандарт СТБ 1386-2013.

Список использованных источников

1. E. Egorov, Yu. Yakuba, V. Razuvaev, Indian Journal of Science and Technology, 10, 16, 1-6 (2017), <https://doi.org/10.17485/ijst/2017/v10i16/112075>
2. U. Regmi, M. Palma, C.G. Barroso, Anal Chim Acta, 732, 137–144 (2012) <https://doi.org/10.1016/j.aca.2011.11.009>
3. J. Zeravika, Z. Fohlerovab, M. Milovanovic et al., Food Chemistry, 194, 432–440 (2016) <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.013>

4. E. M. Coelho, C. V. S. Padilha, G. A. Miskinis, A. G. Barroso de Sá, G. E. Pereirab, L. C. de Azevêdo, M. Santos Lima, *Journal of Food Composition and Analysis*, 66, 160–167 (2018). <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2017.12.017>
5. N.V. Gnilyomedova, N.S. Anikina, V.G. Gerzhikova, *Foods and Raw Materials* 6(1):191-200 (2018), <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2018-1-191-200>
6. Examination of artificial colorants. Method OIV-MA-AS315-08, In: *Compendium of International Methods of Wine and Must Analysis* (O.I.V. Paris, 2018, V. 2.) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.oiv.int/en/technical-standards-and-documents/methods-of-analysis/compendium-of-international-methods-of-analysis-of-wines-and-musts> — дата доступа: 20.01.2023.
7. A Aprelev, E Davydova, V Smirnov, A Pryadka, E Lavrov, *Journal of Physics: Conference Series*, 1420 (2019) 012025, <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1420/1/012025>
8. Y. Zhang, H. Zhou, X. Wang, X. Wu, Y. Zhao, *J Chromatogr Sci.*, 53(2), 210-218 (2015) <https://doi.org/10.1093/chromsci/bmu042>
9. M. Laureati, C. Cattaneo, F. Tateo, M. Bononi, *Foods*, 9(12), 1736 (2020) <https://doi.org/10.3390/foods9121736>
10. S. M.-S. Romána, P. Rubio-Bretóna, E. P. Pérez-Álvarezab, T. Garde-Cerdána, *Food Research International*, 137, 109712 (2020) <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109712>
11. S. Pati, M. Tufariello, P. Crupi, A. Coletta, F. Grieco, I. Losito, *Processes*, 9 (4), 662 (2021) <https://doi.org/10.3390/pr9040662>
12. Макаревич, С.Л. ВЭЖХ в определении антоцианов плодов некоторых видов винограда / С.Л. Макаревич, А.Н. Чулков, В.И. Дейнека, М.О. Костенко, Л.А. Дейнека, В.К. Тохтарь // Сорбционные и хроматографические процессы. — 2014. — Т. 1, Вып. 6. — С. 1024-1031.
13. C. Proestos, A. Bakogiannis's, M. Komaitis, *International Journal of Food Studies*, 1(1): 33-41 (2012), <https://doi.org/10.7455/ijfs/1.1.2012.a4>
14. Malvidin diglucoside. Method OIV-MA-AS315-03:R2009, In: *Compendium of International Methods of Wine and Must Analysis* (O.I.V. Paris, 2021, V. 2.) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <https://www.oiv.int/public/medias/2530/oiv-ma-as315-03.pdf>. дата доступа: 20.01.2023.
15. B. Lorrain, I. Ky, L. Pechamat, P.-L. Teissedre, *Molecules*, 18, 1076-1100 (2013), <https://doi.org/10.3390/molecules18011076>
16. A. Tsakiris, S. Kallithraka, Y. Kourkoutas, *J Sci Food Agric*, 94 (3), 404-414 (2004) <https://doi.org/10.1002/jsfa.6377>
17. Оселедцева И.В. 2-бутанол как один из критериев контроля качества коньячной продукции / И.В. Оселедцева, Т.И. Гугучкина // Научные труды СКЗНИИСиВ. — 2015. — том 7. — с. 235-243.
18. Xiao-Feng WEI, Xue-Lei MA, Jian-Hong CAO, Xiang-Yu SUN, Yu-Lin FANG, *Food Sci. Technol, Campinas*, 38 (Suppl. 1): 50-58, (2018), <https://doi.org/10.1590/fst.12117>

Информация об авторах

Почицкая Ирина Михайловна, доктор технических 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» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: pochitskaja@yandex.ru

Ловкис Зенон Валентинович, академик Национальной академии наук Беларуси, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель Республики Беларусь, главный научный сотрудник РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: Lovkis_zv@mail.ru

Information about the authors

Pochitskaya Irina Mikhailovna, Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher — Head of the Research Group of the Republican Control and Testing Complex for the Quality and Safety of Food Products of RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29 Kozlova str., 220037, Minsk, Belarus).

E-mail: pochitskaja@yandex.ru

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 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: Lovkis.zv@mail.ru

УДК 633.521:664.72

Поступила в редакцию 04.07.2023
Received 04.07.2023**М. Е. Маслинская¹, И. М. Почицкая², Н. В. Комарова²**¹ РУП «Институт льна», аг. Устье, Оршанский район, Витебская область,
Республика Беларусь² РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси
по продовольствию», г. Минск, Республика Беларусь**ВЛИЯНИЕ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ГОДА НА ИЗМЕНЕНИЕ
ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СЕМЯН ЛЬНА МАСЛИЧНОГО**

Аннотация. Одним из приоритетных направлений политики любого государства является обеспечение высокого качества жизни населения. Семена льна и продукты их переработки можно использовать в качестве функционального ингредиента для обогащенных продуктов питания. В статье проведен анализ изменения химического состава семян льна масличного в зависимости от метеорологических условий периода возделывания. Так, в семенах урожая 2021 года отмечено более низкое содержание масла и более высокое содержание белка — 33,4 и 22,3% соответственно. Изучение жирнокислотного состава позволило выявить увеличение содержания стеариновой (с 3,0% до 3,8%), олеиновой (с 12,4% до 18,7%) и линолевой (с 15,6% до 18,5%) кислот в масле всех изучаемых сортов урожая 2021 года при снижении содержания α -линоленовой кислоты (с 63,7% до 53,6%). Стабильные по годам исследования сильные прямые корреляционные взаимосвязи отмечены между содержанием линолевой и пальмитиновой кислот ($r=0,801$), обратные — между содержанием линолевой и α -линоленовой кислот ($r=-0,970$). По результатам двух лет исследований выделены сорта со стабильно высокими показателями содержания масла и α -линоленовой кислоты — Салют, и содержание белка, клетчатки и α -линоленовой кислоты — Бонус.

Ключевые слова: лен масличный (*Linum Ussitatisimum* L.), химический состав, жирнокислотный состав.

М. Е. Maslinskaya¹, I. M. Pochitskaya², N. V. Komarova²*Republican Scientific Subsidiary Unitary Enterprise «Flax Institute»,
ag. Ustye, Orsha district, Vitebsk region, Belarus**RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus”,
Minsk, Republic of Belarus***INFLUENCE OF METEOROLOGICAL CONDITIONS OF THE YEAR
ON CHANGES IN THE CHEMICAL COMPOSITION OF LINSEED SEEDS**

Abstract. One of the priorities of the policy of any state is to ensure a high quality of life for the population. Flax seeds and their derivatives can be used as a functional ingredient in fortified foods. The article analyzes the change in the chemical composition of linseed seeds depending on the meteorological conditions of the cultivation period. Thus, in the seeds of the 2021 crop, a lower oil content and a higher protein content were noted — 33.4 and 22.3%, respectively. The study of the fatty acid composition revealed an increase in the content of stearic (from 3.0% to 3.8%), oleic (from 12.4% to 18.7%) and linoleic (from 15.6% to 18.5%) acids in oil of all studied varieties of the 2021 harvest with a decrease in the content of α -linolenic acid (from 63.7% to 53.6%). Stable over the years of the study, strong direct correlations were noted between the content of linoleic and palmitic acids ($r=0.801$), reverse — between the content of linoleic and α -linolenic acids ($r=-0.970$). According to the results of two years of research, varieties with consistently high levels of oil content and α -linolenic acid — Salyut, and the content of protein, fiber and α -linolenic acid — Bonus were selected.

Keywords: linseed (*Linum Ussitatisimum* L.), chemical composition, fatty acid composition.

Введение. Лен масличный является ценной сельскохозяйственной культурой многоцелевого использования, в связи с чем на современном этапе развития перерабатывающей промышленности считается практически безотходным растением [1–3]. Во многих странах мира (США, Канада, Индия, Чехия, Польша и др.) культура льна масличного достаточно широко распространена как в производстве, так и в качестве объекта научных исследований [4–5]. Продукты, получаемые из семени льна, имеют очень широкое применение в химической, пищевой, комбикормовой промышленности, медицине, косметологии. Раскрываются все новые и новые сферы применения уникального по жирнокислотному и химическому составу льняного масла [6–8]. Семена льна содержат до 50 % масла и до 30 % белка, также в их состав входит азот — до 5 %; зола — до 4; клетчатка — до 4,5 % [9–11]. В льняном масле содержится до 16–20 % олеиновой жирной кислоты; 50–60 — линоленовой; 14–17 — линолевой; 5–7 — пальмитиновой; 3–4 % — стеариновой кислоты [12–15]. По данным исследователей белок семян льна представлен в основном глобулинами (95%), глютелинами (3%), альбуминами (1%) и проламинами (1%) [16–17]. Льняной белок (линумин) содержит восемь незаменимых аминокислот и лучше сбалансирован по аминокислотному составу по сравнению с белками других масличных культур [18]. В зависимости от условий среды колебания масличности сорта могут составлять 36,4–52,0%, резкие колебания температуры в период созревания вызывают относительно большее накопление ненасыщенных жирных кислот [19]. При возделывании льна в условиях повышенной влажности и умеренных температур в их семенах больше образуется полиненасыщенных жирных кислот, водорастворимых белков, при высоких температурах и меньшей влагообеспеченности понижается количество непредельных кислот в масле, усиливается синтез запасных глобулинов [20–22].

Цель исследований — изучить влияние метеорологических условий года исследований на изменение химического состав семян сортов льна масличного белорусской селекции, выявить наиболее стабильные генотипы.

Материалы и методы исследований. Исходный материал: сорта льна масличного белорусской селекции: Салют, Фокус, Визирь, Альянс, Дар, Славянин, Бонус. Опыты заложены на опытных полях РУП «Институт льна» (Оршанский р-н, Республика Беларусь) в демонстрационном питомнике в 2020–2021 гг. из расчета 100 семян на погонный метр на делянках 1 м² в 3-х кратном повторении согласно общепринятым методикам [23–24]. Почва опытных участков для закладки питомников в годы исследований дерново-подзолистая, среднесуглинистая, развивающаяся на лессовидном суглинке, подстилаемая с глубины 1 м моренным суглинком. Предшественники — яровые зерновые. Агрохимическая характеристика почв: рН (KCl) — 5,0–5,5, подвижных форм фосфора (P₂O₅) — 186–190 мг/кг почвы, калия (K₂O) — 210 мг/кг почвы; содержание органического вещества почвы — 1,6%. Посев, уход осуществляли согласно отраслевому регламенту по возделыванию льна масличного [25]. Метеорологические условия места проведения исследований проанализированы по данным метеостанции города Орши Витебской области [26]. 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, СТБ ИСО 15304–2007 [27–31]. Обработка экспериментальных данных осуществлялась с использованием программ Excel-2016, Statistica 2010.

Результаты исследований и их обсуждение. Показателями того, насколько растения обеспечены необходимыми условиями для прохождения стадий развития, являются продолжительность межфазных периодов и вегетационного периода в целом. При проведении посева растений в 2020 году температурный фон находился на уровне 9,1 °С (на 5,4 °С ниже нормы), количество осадков было незначительным 7,8 мм (39% от нормы), в 2021 году данный период характеризовался повышенными температурами (на 1,8 °С выше нормы) и количеством осадков 31,9 мм (160% от нормы). Сформировавшиеся погодные условия способствовали появлению всходов на 7–10 сутки после проведения посева в 2020 году, и на 5–7 сутки после проведения посева 2021 году. Высокие температуры 1–3 декад июня как в 2020, так и в 2021 году вызвали раннее зацветание растений, массовое цветение отмечено в 2020 году в период — 17.06–27.06, в 2021 году в период 22.06–29.06. В июле 2020 года зафиксированы температуры на уровне и ниже нормы, период вегетации образцов составил 83–91 суток. В июле 2021 года установилась жаркая и засушливая погода с незначительным количеством осадков. Сложившиеся условия способствовали быстрому созреванию растений и формированию

урожая, имеющего невысокие качественные характеристики. Общая продолжительность вегетационного периода у сортов льна масличного белорусской селекции составила 80–86 суток.

Проведен сравнительный анализ содержания масла и его кириокислотного состава в семенах анализируемых сортов льна масличного (рис. 1, табл. 1).

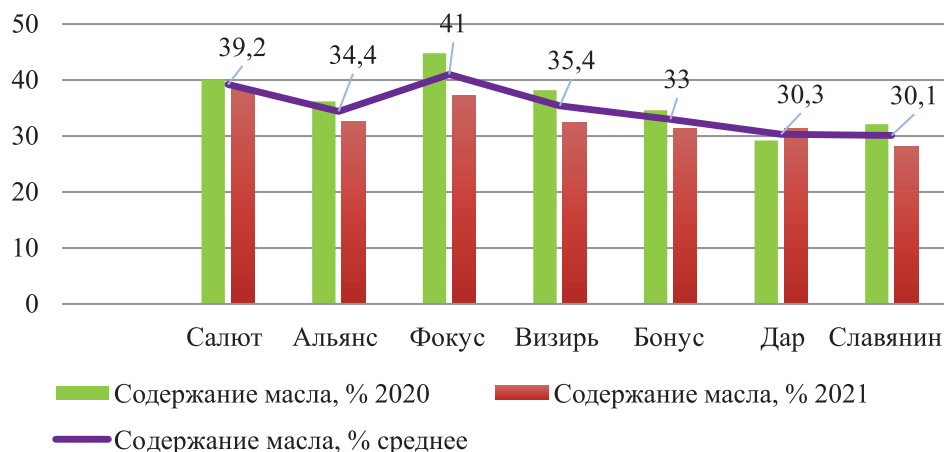


Рис. 1. Масличность сортов льна в годы исследований

Fig. 1. Oil content of varieties flax in the years of research

Так, если в семенах урожая 2020 года максимальные его значения отмечены на уровне 40,1 % у сорта Салют и 44,8 % у сорта Фокус при среднем значении 36,5 %, то в 2021 году зафиксированы более низкие значения данного показателя. Максимальное содержание масла составило 38,3 % у сорта Салют и 37,2 % у сорта Фокус при среднем значении данного показателя 33,4 %. Средние значения показателя изменялись в пределах 30,1–41,0 %. Также следует отметить более значительное варьирование содержания масла в семенах урожая 2020 года. Так, размах варьирования данного показателя в 2020 году составил 15,6%, в 2021 году — 10,2%. Анализируя данные, можно сделать вывод о том, что в 2020 году наблюдались более благоприятные условия для роста и развития растений, которые способствовали формированию семян с более высокой их масличностью. Сумма активных температур за период вегетации 2020 года составила 1705 °С при общем количестве выпавших осадков 238,8 мм, условия 2021 года характеризовались более высоким температурным фоном (1826 °С) и количеством осадков 142,4 мм, что практически вдвое ниже аналогичного периода предыдущего года. Также следует выделить сорта Салют и Фокус, у которых отмечено наиболее высокое содержание масла, как в 2020, так и в 2021 году.

При анализе жирнокислотного состава масла изучаемых сортов льна масличного установлено, что содержание пальмитиновой кислоты в двух образцах урожая 2020 года варьировало в пределах — 4,4–5,4%, 2021 — 3,7–6,0%, причем у двух сортов (Салют и Визирь) отмечено процентное снижение данной кислоты, у других — повышение в условиях 2021 года (табл. 1).

По содержанию стеариновой кислоты колебания по годам были незначительными: 2020 — 2,6–3,7 %, 2021 — 2,5–4,5 %. Отмечено значительное увеличение содержания олеиновой кислоты в условиях 2021 года — 17,1–21,4 % при значениях в 2020 году — 11,1–13,9 % и незначительное увеличение содержания линолевой кислоты — 15,2–28,9 в 2021 году, 12,9–25,9 % в 2020 году. Размах варьирования α-линоленовой кислоты составил в 2020 году 51,4–66,7 %, в 2021 году — 41,1–61,1 %. Наиболее высокие средние значения пальмитиновой кислоты отмечены у сортов Дар (5,8 %) и Славянин (5,0 %), стеариновой — у сортов Фокус (3,85 %) и Дар (4,1 %), олеиновой — у сортов Альянс (16,6 %), Дар (15,95 %) и Славянин (16,8 %), линолевой — Альянс (16,3 %) и сорт с измененным жирнокислотным составом Дар (27,4 %) (рис. 2).

Максимальное содержание полиненасыщенной α-линоленовой кислоты отмечено у сортов Салют (62,95 %), Визирь (61,4 %) и Бонус (61,75 %).

Установлены корреляционные зависимости между содержанием масла и его жирнокислотным составом, как в условиях 2020, так и 2021 года (табл. 2).

Таблица 1. Жирнокислотный состав льняного масла, 2020-2021 гг.

Table 1. Fatty acid composition of linseed oil, 2020-2021

Наименование жирной кислоты	Год урожая	Наименование сорта							НСР ₀₅
		Салют	Альянс	Фокус	Визирь	Бонус	Дар	Славянин	
Пальмитиновая	2020	4,7	4,6	4,4	5,1	4,5	5,5	4,8	0,14
	2021	3,7	5,2	4,9	4,7	4,8	6,0	5,2	0,26
Стеариновая	2020	2,6	2,8	3,3	2,8	3,1	3,7	3,0	0,14
	2021	2,5	3,5	4,4	3,4	4,2	4,5	4,0	0,27
Олеиновая	2020	13,2	13,9	11,8	11,1	11,8	12,9	12,2	0,36
	2021	17,1	19,3	17,3	18,2	18,4	19	21,4	0,55
Линолевая	2020	14,3	14,6	14,0	14,2	13,5	25,9	12,9	1,73
	2021	15,2	18,0	17,0	16,9	15,2	28,9	18,2	1,79
α -линоленовая	2020	64,8	63,7	66,1	66,4	66,7	51,4	66,6	2,09
	2021	61,1	53,5	55,9	56,4	56,8	41,1	50,7	2,41

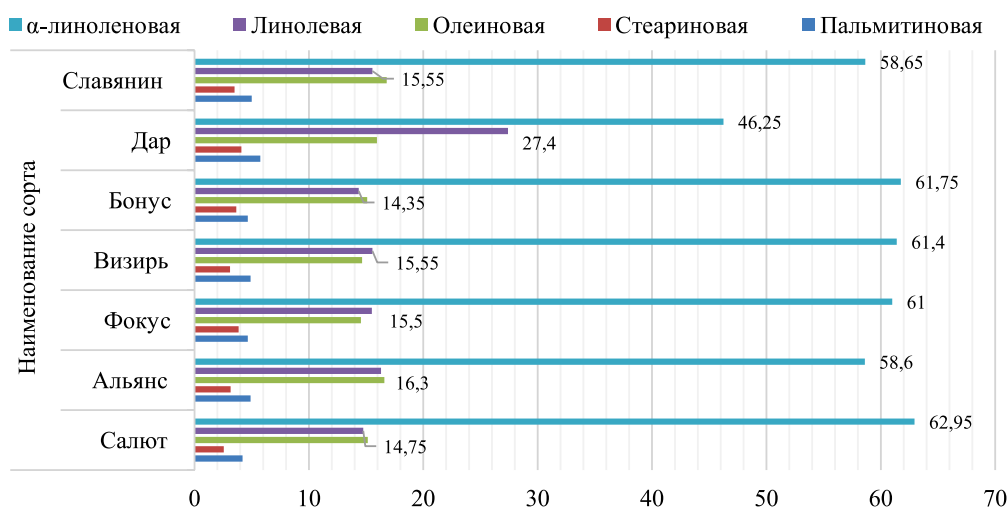


Рис. 2. Среднее содержание жирных кислот в масле семян льна, 2020-2021 гг.

Fig. 2. Average fatty acid content of flaxseed oil, 2020-2021

Таблица 2. Корреляционные зависимости между содержанием масла и его жирнокислотным составом у сортов льна масличного

Table 2. Correlations between oil content and its fatty acid composition in varieties of linseed

Наименование показателя	Год исследований	Пальмитиновая	Стеариновая	Олеиновая	Линолевая	α -линоленовая	Содержание масла
Пальмитиновая	2020	1,000					
	2021						
	среднее						
Стеариновая	2020	0,799	1,000				
	2021	0,425					
	среднее	0,612					
Олеиновая	2020	0,561	0,308	1,000			
	2021	0,000	-0,119				
	среднее	0,281	0,214				
Линолевая	2020	0,802	0,502	0,271	1,000		
	2021	0,800	0,743	0,272			
	среднее	0,801	0,623	0,272			
α -линоленовая	2020	-0,926	-0,648	-0,527	-0,949	1,000	
	2021	-0,770	-0,700	-0,394	-0,991		
	среднее	-0,848	-0,674	-0,461	-0,970		

Окончание табл. 2.

Наименование показателя	Год исследований	Пальмитиновая	Стеариновая	Олеиновая	Линолевая	α -лино-леновая	Содержание масла
Содержание масла	2020	-0,644	-0,452	-0,896	-0,324	0,569	1,000
	2021	-0,643	-0,394	-0,213	-0,559	0,581	
	среднее	-0,644	-0,423	-0,555	-0,442	0,575	

Установлены стабильные по годам исследования сильные прямые корреляционные взаимосвязи между содержанием линолевой и пальмитиновой кислот ($r=0,801$), средние между содержанием линолевой и стеариновой кислот ($r=0,623$), а также обратная зависимость между содержанием линолевой и α -линоленовой кислот ($r=-0,970$). Содержание α -линоленовой кислоты имеет взаимосвязи средней силы с содержанием стеариновой кислоты ($r=-0,674$) они отрицательные, с общим содержанием масла положительные ($r=0,575$), а также сильные обратные зависимости с содержанием пальмитиновой кислоты ($r=-0,848$). Также установлены отрицательные взаимосвязи средней силы между содержанием масла и пальмитиновой кислоты ($r=-0,644$).

Установлено, что условия года возделывания оказывают влияние на накопление белка (рис. 3). Полученные результаты свидетельствуют о более высоком его процентном содержании в образцах урожая 2021 года. Среднее значение данного показателя в 2021 году составило 22,3 %, в 2020 г. — 20,6 % при минимальных значениях 20,2 и 19,8 % соответственно и максимальных — 25,1 и 21,7 % соответственно. По максимальному содержанию белка в оба года исследований можно выделить сорт Бонус (23,2 %).

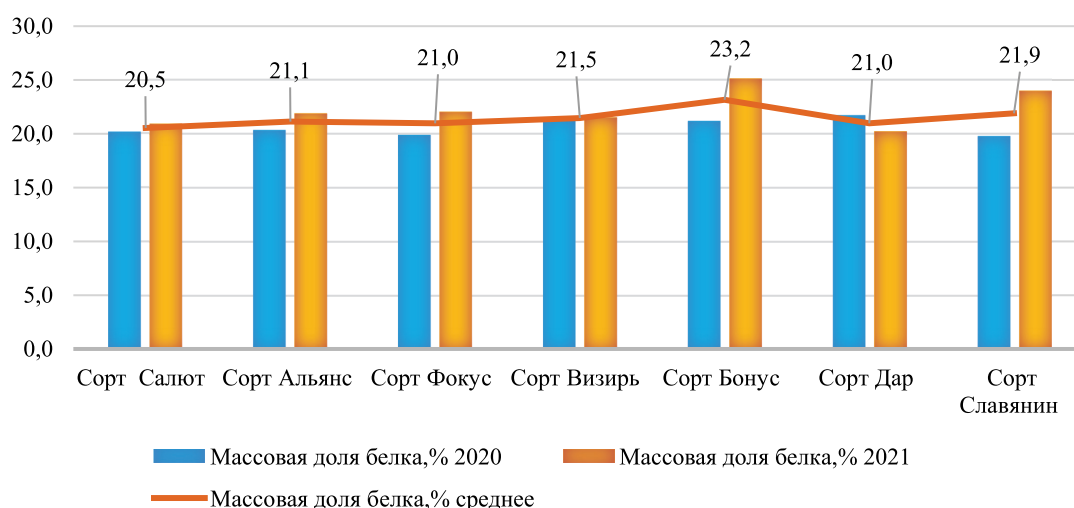


Рис. 3. Содержание белка в семенах льна масличного, 2020 и 2021 гг.
Fig. 3. Protein content in seeds of the linseed, 2020 and 2021

Анализ содержания клетчатки и золы в семенах урожая 2020 и 2021 года также свидетельствует о влиянии метеорологических условий на значения данных показателей (рис. 4). В условиях 2021 года отмечено более низкое содержание клетчатки на уровне 21,7 % при интервале варьирования показателя 20,2–23,1 %, в 2020 году среднее содержание данного компонента составило 29,0 % при интервале варьирования 24,8–33,3 %.

Массовая доля золы в условиях 2020 года изменялась в пределах 3,8–4,2 % в зависимости от образца при среднем значении 4,0 %, в условиях 2021 года значение данного показателя составили 3,2–3,7 %, среднее — 3,4 %. По максимальным значениям в условиях обоих лет исследований выделены сорта Альянс и Бонус.

Заключение. Изучены изменения содержания масла, белка, клетчатки, золы и жирнокислотного состава масла в семенах урожая 2020 и 2021 года. В семенах сортов урожая 2021 года отмечено более низкое процентное содержание масла по сравнению с семенами сортов урожая 2020 года: среднее значение — 33,4 и 36,5% соответственно.

При анализе жирнокислотного состава отмечено увеличение содержания стеариновой (среднее 2020 г. — 3,0%, 2021 г. — 3,8%), олеиновой (среднее 2020 г. — 12,4%, 2021 г. — 18,7%) и линолевой (среднее 2020 г. — 15,6%, 2021 г. — 18,5%) кислот в масле всех изучаемых сортов

урожае 2021 года при снижении содержания α -линоленовой кислоты (среднее 2020 г. — 63,7%, 2021 г. — 53,6%). Максимальное содержание полиненасыщенной α -линоленовой кислоты отмечено у сортов Салют (62,95%), Визирь (61,4%) и Бонус (61,75%).

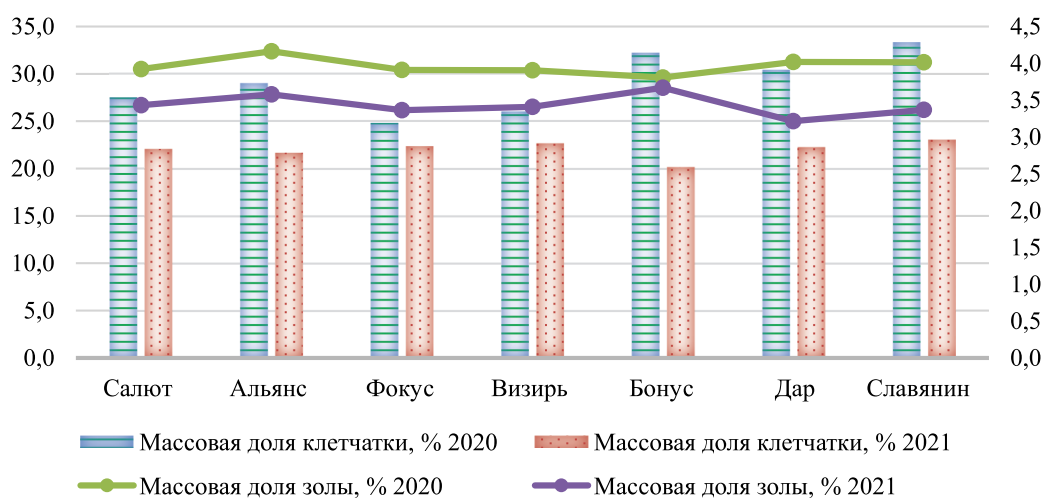


Рис. 4. Содержание клетчатки и золы в семенах льна масличного, 2020-2021 гг.
Fig. 4. The content of fiber and ash in oil linseed, 2020-2021

Установлены стабильные по годам исследования сильные прямые корреляционные взаимосвязи между содержанием линолевой и пальмитиновой кислот ($r=0,801$), средние между содержанием линолевой и стеариновой кислот ($r=0,623$), а также обратная зависимость между содержанием линолевой и α -линоленовой кислот ($r=-0,970$). Содержание α -линоленовой кислоты имеет взаимосвязи средней силы с содержанием стеариновой кислоты ($r=-0,674$) они отрицательные, с общим содержанием масла положительные ($r=0,575$), а также сильные обратные зависимости с содержанием пальмитиновой кислоты ($r=-0,848$). Также установлены отрицательные взаимосвязи средней силы между содержанием масла и пальмитиновой кислоты ($r=-0,644$).

Отмечено более высокое содержание белка в образцах урожая 2021 года: 22,3% (в 2020 г. — 20,6%), более низкое содержание клетчатки и золы: 22,1 и 3,4% соответственно при значениях в 2020 году — 29,0 и 4,0%.

По результатам двух лет исследований выделены наиболее стабильные генотипы: сорт Салют, у которого отмечено высокое и стабильное содержание масла и α -линоленовой кислоты и Бонус, у которого отмечено высокое и стабильное содержание белка, клетчатки и α -линоленовой кислоты.

Список использованных источников

1. Колотов, А.П. Перспективы выращивания льна масличного в условиях Свердловской области / А.П. Колотов // Нива Урала. — 2011. — №3. — С. 22–23.
2. Миневич, И.Э. Функциональная значимость семян льна и практика их использования в пищевых технологиях / И.Э. Миневич // Health, Food & Biotechnology. — 2019. — 1(2). С.97-120.
3. Косых, Л.А. Лен масличный — культура пищевого использования (обзор) / Л.А. Косых // Аграрная наука. — 2021 г. — №353 (10). — С.56-59.
4. Ludvicova, M. Transgenic flax/linseed (*Linum usitatissimum* L.) — expectation and reality / M. Ludvicova, M. Griga // Czech J. Genet. Plant Breed. — 2015. — Vol. 51. — P. 123–141.
5. Елисеев, С.Л. Формирование элементов продуктивности растений льна масличного сорта Уральский в условиях Среднего Предуралья / С.Л. Елисеев, Е.А. Ренев, Е.В. Бояршинова., Д.Н. Прянишников // Вестник НГАУ. — 2022. — №1 (62). — С.14-22.
6. Лучкина, Т.Н. Оценка пластичности льна масличного / Т.Н. Лучкина, Е.В. Картамышева, Л.П. Збраилова // Евразийский союз ученых (ЕСУ). 2018. — №11 (56). — С. 13–17.
7. Остриков, А.Н. Исследование жирнокислотного и витаминного состава льняного масла холодного отжима / А.Н. Остриков, Н.Л. Клейменова, И.Н. Болгова, М.В. Копылов, Е.Ю. Желтоухова // Пищевая промышленность. — 2020. — №8. — С. 52–55.

8. Воловик, В.Т. Сравнение жирнокислотного состава различных пищевых масел / В.Т. Воловик, Т.В. Леонидова, Л.М. Коровина, Н.А. Блохина, Н.П. Касарина // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2019. — № 5. — С. 147-152.
9. Льон олійний: біологія, сорти, технологія вирощування / А. В. Чехов, О. М. Лапа, Л. Ю. Міщенко, І. О. Полякова. — Київ: Універсал-Друк, 2007. — 56 с.
10. Косых, Л.А. Зависимость продуктивности сортов льна масличного от метеорологических условий Самарской области / Л.А. Косых // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Сельскохозяйственные науки. — 2022 г. — Т.1. — №2. — С.3-8.
11. Маслинская М.Е. Характеристика сортов льна масличного белорусской селекции по морфологическим и физическим признакам, органолептическим свойствам / М.Е. Маслинская // Земледелие и селекция в Беларуси: сборник научных трудов. Выпуск 58. — 2022 г. — С. 437-446.
12. Goyal A., Sharma V., Upadhyay N. et al. Flax and flaxseed oil: an ancient medicine & mod-ern functional food // Journal of Food Science and Technology. 2014. № 51 (9). P. 1633–1653.
13. Jhala A.J., Hall L.M. Flax (*Linum usitatissimum* L.): current uses and future applications // Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 2010. № 4 (9). P. 4304–4312.
14. Косых, Л.А. Влияние агрометеорологических условий Среднего Поволжья на формирование продуктивности льна масличного / Л.А. Косых, А.В. Казарина // Вестник КрасГУ. — 2020. — №11. — С.45-54.
15. Маслинская, М.Е. Изучение физических показателей и биохимического состава семян белорусских сортов льна масличного / М.Е. Маслинская, И.М. Почицкая, Н.В. Комарова // Пищевая промышленность: наука и технологии. — 2022. — Т.15. — №2 (56). — С. 26-35.
16. Федорова, Т.Ц. Семена масличного льна — источник белка при производстве рыбных полуфабрикатов / Т.Ц. Федорова, Ю.Ю. Забалуева, И.В. Хамаганова // Ползуновский вестник. — 2017. — №2. — С.28-32.
17. Султаева, Н.Л. Исследование свойств семян льна и разработка на их основе технологии хлебобулочных изделий / Н.Л. Султаева, В.С. Перминова // Интернет-журнал «Науковедение». — 2015. — №1. — Том 7. Режим доступа: <http://naukovedenie.ru/PDF/145TVN115.pdf>.
18. Воронова, Н. С. Исследование белков семян льна как полноценных и необходимых для здоровья человека / Н. С. Воронова, Л. С. Бередина // Молодой ученый. — 2015. — № 14 (94). — С. 144-147.
19. Носевич М.А. Элементы структуры урожая и семенная продуктивность льна масличного сорта Уральский в условиях Ленинградской области / М.А. Носевич // Технические культуры. Научный сельскохозяйственный журнал. — 2022. — 4(2). — С.3-10. DOI: 10.54016/SVITOK.2023.74.91.001.
20. Галицкий, Д.Н. Зависимость накопления масла и жирнокислотного состава от условий окружающей среды в семенах льна масличного в южной лесостепи Омской области / Д.Н. Галицкий, В.П. Шамагин // Омский научный вестник. — 2014. — №2 (134) — С. 169-173.
21. Белопухов, С.Л. Изменение химического состава льна и технической конопли в зависимости от зоны выращивания / С.Л. Белопухов, Р.Ф. Байбеков, И.И. Дмитриевская // Научный альманах. — 2019. — №7-1(57). — С. 206-208.
22. Бегалина, А.А. Качественные показатели льна масличного сортов китайской селекции в условиях сухостепной зоны Северного Казахстана / А.А. Бегалина, А.А. Байтеленова, Yu Fu Wang, Г.А. Кипшакбаева, А.А. Теппаева // Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С.Сейфуллина (междисциплинарный). — 2021. — №3 (110). — С.30-39.
23. Методические указания по изучению коллекции льна (*Linum usitatissimum* L.) / под ред. канд. с.-х. наук Н.К. Лемешева. — Ленинград, 1988. — 29 с.
24. Методические указания по селекции льна-долгунца / под ред. доктора с.-х. наук В.Ф. Козловской. — Москва, 2004. — 43 с.
25. Организационно-технологические нормативы возделывания кормовых и технических культур: сб. отраслевых регламентов / Нац. Акад. наук Беларуси, Науч. практ. Центр Нац. акад. наук Беларуси по земледелию; рук. разработ.: Ф.И. Привалов [и др.]; под общ. ред. В.Г. Гусакова, Ф.И. Привалова. Минск: Беларус. Навука, 2012. 469 с.
26. Агрометеорологический бюллетень / ГУ «Республиканский гидрометеорологический центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды»; редактор О.М. Клинецвич, начальник Т.С. Гомонова, 2020-2021 гг. — (Обзорная информация / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь).
27. ГОСТ 10857-64. Семена масличные. Методы определения масличности. М.: Стандартинформ, 2010. 6 с.
28. ГОСТ 13496.2-91. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Метод определения сырой клетчатки. М.: Союзсельхозхимия, 1992. 6 с.
29. ГОСТ 26312.5-84. Крупа. Методы определения зольности. М.: Стандартинформ, 2010. 4 с.
30. ГОСТ 10846-91. Зерно и продукты его переработки. Методы определения белка. М.: Стандартинформ, 2010. 4 с.

31. СТБ ИСО 15304-2007. Жиры и масла животные растительные. Определение содержания трансизомеров жирных кислот в растительных жирах и маслах методом газовой хроматографии. Минск: Госстандарт, 2007. — 24 с.

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, доктор технических 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» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: pochitskaja@yandex.ru

Комарова Наталья Викторовна, кандидат технических наук, заместитель генерального директора по научной работе и качеству РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (220037, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Козлова, 29).

E-mail: aleko-2006@tut.by

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 Irina Mikhailovna, Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher — Head of the Research Group of the Republican Control and Testing Complex for the Quality and Safety of Food Products of RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29 Kozlova str., 220037, Minsk, Belarus).

E-mail: pochitskaja@yandex.ru

Komarova Natalia Viktorovna, PhD (Technical), Deputy General Director for Research and Quality of RUE “Scientific-Practical Centre for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: aleko-2006@tut.by

УДК 664.34:637.144

Поступила в редакцию 23.07.2023
Received 23.07.2023**А. Н. Никитенко¹, А. М. Мазур², А. А. Синило¹, М. А. Клыпутенко¹**¹*Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь*²*Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь***ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ПЕРЕРАБОТКИ ФРУКТОВОГО СЫРЬЯ НА ИЗМЕНЕНИЯ
СОДЕРЖАНИЯ ФЕНОЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ**

Аннотация. Роль растительного сырья и потребность регулярного потребления фруктов человеком доказана многочисленными исследованиями. Технологическая переработка осуществляется с целью сохранения пищевой ценности сырья, рациональной реализации продукции. К числу наиболее распространенных видов тепловой обработки растительного сырья относят: бланширование, пастеризацию, различные методы сушки. Фенольные вещества фруктов обладают антиоксидантными свойствами, снижают вероятность развития ряда заболеваний. Цель работы — исследовать влияние некоторых способов обработки фруктового сырья на содержание фенольных веществ при производстве продукции. В результате проведенных исследований определено, что по показателям: величине активности воды, содержанию влаги, растворимых сухих веществ, твердости, яблоки сортов Антоновка обыкновенное, Ауксис, Имант, ягоды черной смородины и черники были пригодны для переработки. Наибольшее содержание фенольных соединений обнаружено в яблоках сорта «Ауксис» — $381,6 \pm 30,4$ мг/100 г, в ягодах черники — $783 \pm 35,1$ мг/100 г, что обусловлено степенью зрелости, генетическими и морфологическими признаками. Все виды теплового воздействия привели к снижению содержания фенольных соединений. Существенное влияние на уменьшение содержания биологически активных соединений нарезанных на пластины яблок оказывает бланширование в воде — до 14 % от исходного в сырье, ягод — контактная сушка — до 23 % от исходного в сырье. Установлено, что с точки зрения сохранения биологически активных соединений, сублимационная сушка превосходит другие виды обработки, поскольку обеспечивает содержание 82 % фенольных веществ, 63 % антоцианов фруктового сырья. Обработка аскорбиновой кислотой перед высушиванием позволяет сохранить до 17 % фенольных веществ сырья. Все рассмотренные способы обработки фруктов оказывают сильное влияние на содержание биологически активных соединений в продуктах. Полученные данные могут быть использованы при прогнозировании содержания фенольных веществ, в частности антоцианов, при производстве пищевых продуктов и биологически активных добавок из фруктового сырья.

Ключевые слова: яблоки, черная смородина, черника, фенольные вещества, сушка, бланширование.

A. N. Nikitenko¹, A. M. Mazyr², A. A. Sinilo¹, M. A. Klyputenko¹¹*Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus*²*Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Republic of Belarus***INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL
PARAMETERS OF RAW FRUIT PROCESSING ON CHANGES IN THE
CONTENT OF PHENOLIC SUBSTANCES**

Abstract. The role of vegetable raw materials and the need for regular fruit consumption by a person has been proven by numerous studies. Technological processing is carried out in order to preserve the nutritional value of raw materials, the rational sale of products. The most common types of heat

treatment of vegetable raw materials include: blanching, pasteurization, various drying methods. Phenolic substances of fruits have antioxidant properties, reduce the likelihood of developing a number of diseases. The purpose of the work is to investigate the effect of some methods of processing fruit raw materials on the content of phenolic substances in the production of products. As a result of the research, it was determined that according to the indicators: the value of water activity, moisture content, soluble solids, hardness, apples of the varieties “Antonovka ordinary”, “Auxis”, “Imant”, black currants and blueberries were suitable for processing. The highest content of phenolic compounds was found in apples of the “Auksis” variety — $381,6 \pm 30,4$ mg/100 g, in blueberries — $783 \pm 35,1$ mg/100 g, which is due to genetic and morphological characteristics, the degree of maturity. All types of thermal exposure led to a decrease in the content of phenolic compounds. Blanching in water has a significant effect on reducing the content of biologically active compounds in sliced apples — up to 14% of the original in raw materials, berries — contact drying — up to 23% of the original in raw materials. It has been established that from the point of view of preserving biologically active compounds, freeze-drying is superior to other types of processing, since it provides the content of 82% of phenolic substances, 63% of anthocyanins of fruit raw materials. Treatment with ascorbic acid before drying allows you to save up to 17% of the phenolic substances of the raw material. All considered methods of fruit processing have a strong influence on the content of biologically active compounds in products. The data obtained can be used to predict the content of phenolic substances, in particular anthocyanins, in the production of food products and biologically active additives from fruit raw materials.

Keywords: apples, black currants, blueberries, phenolic substances, drying, blanching.

Введение. Роль растительного сырья и потребность регулярного потребления фруктов человеком доказана многочисленными исследованиями. Большинство растительного сырья население употребляет после обработки, которая вызывает изменение вкусовых свойств, флейвора, текстуры, состава нутриентов, включая фенольные вещества.

Технологическая переработка осуществляется с целью сохранения сырья, его пищевой ценности, рациональной реализации продукции в межсезонный период. Способы переработки фруктов разнообразны и подразделяются в зависимости от методов воздействия на сырье и происходящих при этом процессов на: биохимические (микробиологические) — квашение, соление, мочение, производство фруктовых вин, применение консервантов и веществ асептического действия (сернистой, сорбиновой, бензойной, уксусной, молочной кислот и др.); гидромеханические — фильтрация, очистка и др.; тепловые — стерилизация, сушка, замораживание и др. Применение данных способов приводит к физическим, химическим и биологическим изменениям в сырье, влияет на питательные свойства и биодоступность фенольных соединений, что в свою очередь оказывает негативное влияние на биологически активные свойства готовых продуктов. К числу наиболее распространенных видов тепловой обработки относят: бланширование, пастеризацию и различные методы сушки [1].

На современном этапе известно несколько тысяч фенольных веществ растительного происхождения, ряд из которых обладают подтвержденными биологически активными свойствами. Фенольные соединения относятся к важным веществам «вторичного обмена». Они обнаружены в растительном сырье в виде мономеров, димеров, олигомеров, полимеров, принимающих участие в процессе обмена веществ. Классификация фенольных соединений основана на строении углеродного скелета и включает $C_6 - C_1$ (оксибензойные кислоты, ряд из которых высвобождаются при гидролизе); $C_6 - C_3$ (оксикоричные кислоты и кумарины); $C_6 - C_3 - C_6$ — флавоноиды (катехины, антоцианы, лейкоантоцианы, флаваноны, флавонолы) и полифенольные соединения (дубильные вещества, меланины и др.) [2].

Исследования ряда авторов указали на высокую корреляцию между содержанием фенольных веществ и антиоксидантными свойствами фруктов. К числу полезных свойств фенольных соединений растительного сырья относят снижение вероятности развития ряда онкологических, сердечно-сосудистых, воспалительных и нейродегенеративных заболеваний, сахарного диабета, астмы, а также множества других болезней, развитие которых связано с окислительным стрессом [3–5].

Несмотря на проведенные многочисленные исследования, посвященные содержанию фенольных веществ в фруктовом сырье, их антиоксидантной активности и влиянию на состояние здоровья человека, нет единого мнения о воздействии технологических способов обработки на сохранение данных соединений [6, 7].

Поэтому цель работы — исследовать влияние некоторых способов обработки фруктового сырья на содержание фенольных веществ при производстве продукции.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие задачи:

- ♦ провести выбор объектов исследования;
- ♦ отработать надлежащие методы анализа фенольных веществ,
- ♦ оценить влияние способов обработки фруктов на содержание фенольных соединений.

Материалы и методы исследований. Яблоки, ягоды черники и черной смородины являются распространенным продуктом для широкого употребления в свежем и переработанном виде, поэтому они были выбраны в качестве объектов исследования. Отобранные фрукты, наряду с содержанием углеводов, органических кислот, пектиновых веществ, витаминов, макро- и микроэлементов, являются богатым источником фенольных соединений [8].

Для испытаний использовали яблоки сортов Антоновка обыкновенная, Ауксис и Имант (табл. 1), имеющих окраску от желтой до темно-красно-пурпуровой с различным содержанием фенольных соединений [9].

Ягоды черной смородины являются источником таких фенольных веществ, как флавоноиды: антоцианы, лейкоантоцианы, флавоны, флавонолы (кверцетин), проантоцианидины; оксibenзойных кислот — п-оксibenзойной, галловой и др.; кумаринов и оксикоричных кислот [10]. Плоды черной смородины также содержат углеводы, витамины (А, В₁, В₂, К, РР), микроэлементы (железо, магний, фосфор, цинк, бор, калий), органические кислоты и др.

Исследовали также ягоды черники (*Vaccinium myrtillus L.*) — источника флавоноидов: антоцианов, флавонолов, проантоцианидинов, наряду с фенольными кислотами (хлорогеновой) и полифенолами (ресвератролом). Ягоды черники также содержат сахара, пектиновые вещества, аскорбиновую, яблочную, шавелевую, лимонную кислоты, тиамин (В₁), рибофлавин (В₂), макро- и микроэлементы. В научной медицинской литературе чернику рекомендуют применять при заболеваниях глаз, желудка, печени, сахарном диабете, лечении воспалительных, онкологических, сердечно-сосудистых заболеваний [11].

Таблица 1. Характеристика фруктового сырья
Table 1. Characteristics of fruit raw materials

Наименование	Характеристика плодов	Степень зрелости	Срок созревания/потребления
Антоновка обыкновенная	Высшего сорта. Покровная окраска желтая со слабым румянцем. Дегустационная оценка 4,5 баллов.	4,5	Зимний/ до января
Ауксис	Высшего сорта. Окрас плодов размытый в форме кармино-красного румянца. Дегустационная оценка 4,5 баллов.	4,5	Зимний/до февраля
Имант	Высшего сорта. Покровная окраска темно-красно-пурпуровая, размытая по большей части плода. Дегустационная оценка 4,5 баллов.	5	Позднезимний/ до мая
Смородина черная	Ягоды крупные, округло-овальные, черные, с плотной кожурой	5	Зимостойкая/ июль-август
Черника	Крупноплодные, округлой формы, ягоды темно-синие, плотные	5	Зимостойкая/ до сентября

Бланширование яблочного сырья проводили в воде после резки на пластины толщиной 2 мм при температуре $(85 \pm 5)^\circ\text{C}$ в течение 230 с. Сублимационную сушку растительного сырья проводили после механического измельчения, используя лабораторную сушилку LaboGene 100 (Дания), конвективное высушивание — при горизонтальным движением нагретого воздуха; контактное — при ступенчатом подъеме температуры до 90°C и конечной влажности 8–10 %.

Отбор проб фруктового сырья проводили согласно требованиям ГОСТ 34110, подготовку проб — по ГОСТ 26671 [12, 13]. Подготовка образцов для исследований состояла в получении однородной массы продукта путем измельчения, растирания на высокоскоростном блендере

в течение 3 мин. Перед измельчением продукта удаляли веточки, чашелистики и посторонние примеси. Далее пробы замораживали. Перед исследованием образцы размораживали в закрытой емкости, жидкую фазу, образующуюся при размораживании, добавляли в продукт. Подготовленные пробы помещали в стеклянный сосуд. Навеску пробы отбирали сразу после приготовления и тщательно перемешивали.

Перед исследованием содержания фенольных соединений образцы экстрагировали 70 % этанолом. Смесь встряхивали в темноте не менее 2 часов, обрабатывали ультразвуком частотой 25 КГц при температуре окружающей среды в ванне UM-4 «Unitra-Unima», Olsztyn (Польша).

Определение общего содержания фенольных веществ выполняли по методу Фолина-Чокольеу, с использованием галловой кислоты в качестве стандарта. Оптическую плотность измеряли при 760 нм относительно контроля по дистиллированной воды с добавлением предусмотренных методикой реактивов. Пробы перед исследованием фильтровали через мембранный фильтр с размером пор не более 0,45 мкм.

Определение показателей, характеризующих качество фруктового сырья, выполняли с использованием следующих методов и приборов:

- ♦ массовой доли сухих веществ высушиванием навески продукта при температуре 105 °С до постоянной массы — по ГОСТ 28561 [14];
- ♦ измерение содержания растворимых сухих веществ — по ГОСТ ISO 2173 на рефрактометре ATAGO NAR-1 [15];
- ♦ твердость плодов — на пенетрометре GY-3;
- ♦ активность воды (a_w) — на анализаторе активности воды Roremeter RM-10 по ISO 21807 [16];
- ♦ степень зрелости — по йод-крахмальной пробе (для яблок) и пятибалльной шкале (5 — полностью зрелое, 0 — не зрелое) [17].

Все исследования выполнялись в условиях повторяемости и внутрилабораторной воспроизводимости.

Результаты исследований и их обсуждение. Исследуемое фруктовое сырье характеризовалось физическими и химическими показателями: величиной активности воды, содержанием влаги, растворимых сухих веществ, для яблок также определяли твердость (табл. 2). Из полученных данных видно, что все рассмотренные сорта яблок имели твердость, соответствующую для технологической переработки (не менее 7,5 кг/см²); содержание растворимых сухих веществ, удовлетворяющее требованиям стандарта ГОСТ 27572 и методических рекомендаций для переработки на другие виды продукции (более 10 %). Влагосодержание и величина a_w различных сортов яблок соответствовали изотерме сорбции воды. Самое высокое значение активности воды яблок было установлено в сорте Антоновка обыкновенная и связано с наступлением периода их употребления в пищу. Полученные значения a_w яблок, районированных в Республике Беларусь, согласовывались с ранее проведенными исследованиями [9]. Ягоды черники и черной смородины характеризовались высоким содержанием растворимых сухих веществ, что подтверждает их высокую пищевую ценность и соответствие требованиям для технологической переработки на другие виды продукции. Величина a_w ягод не коррелировала с содержанием влаги. Значения a_w черники и черной смородины свидетельствовали о том, что большинство микроорганизмов, включая бактериальные патогены пищевого происхождения могут активно расти при температурах выше плюс 8 °С.

Таблица 2. Показатели качества фруктового сырья
Table 2. Quality indicators of fruit raw materials

Наименование показателя	Яблоки			Ягоды	
	Антоновка обыкновенная	Ауксис	Имант	Смородина черная	Черника
Массовая доля растворимых сухих веществ, %	10,2±0,2	13,3±0,2	9,8±0,3	17,0±0,12	20,2±0,2
Массовая доля влаги, %	89,4±1,6	84,6±1,8	83,9±1,3	83,7±1,2	86,93±1,4
Твердость, кг/см ²	10,4±0,25	7,5±0,2	10,7±0,3	—	—
Активность воды, ед.	0,905±0,02	0,890±0,02	0,835±0,02	0,993±0,005	0,922±0,05

Результаты исследований содержания фенольных веществ в фруктовом сырье (рис. 1) свидетельствуют о том, что максимальное содержание биологически активных соединений

определено в ягодах черники ($783 \pm 35,1$ мг/100 г). Содержание фенольных соединений черники составило ($387,3 \pm 31,2$) мг/100 г, яблок варьировало в пределах (183,2 — 381,6) мг/100 г. Большее количество фенольных веществ яблок выявлено в сорте «Ауксис», что согласуется с ранее проведенными исследованиями [8, 9].

Оценка воздействия способов обработки проводилась на примере яблок с большим содержанием фенольных веществ в пересчете на сухое вещество (рис. 2).



Рис. 1. Общее содержание фенольных соединений в фруктовом сырье
Fig. 1. The total content of phenolic compounds in fruit raw materials

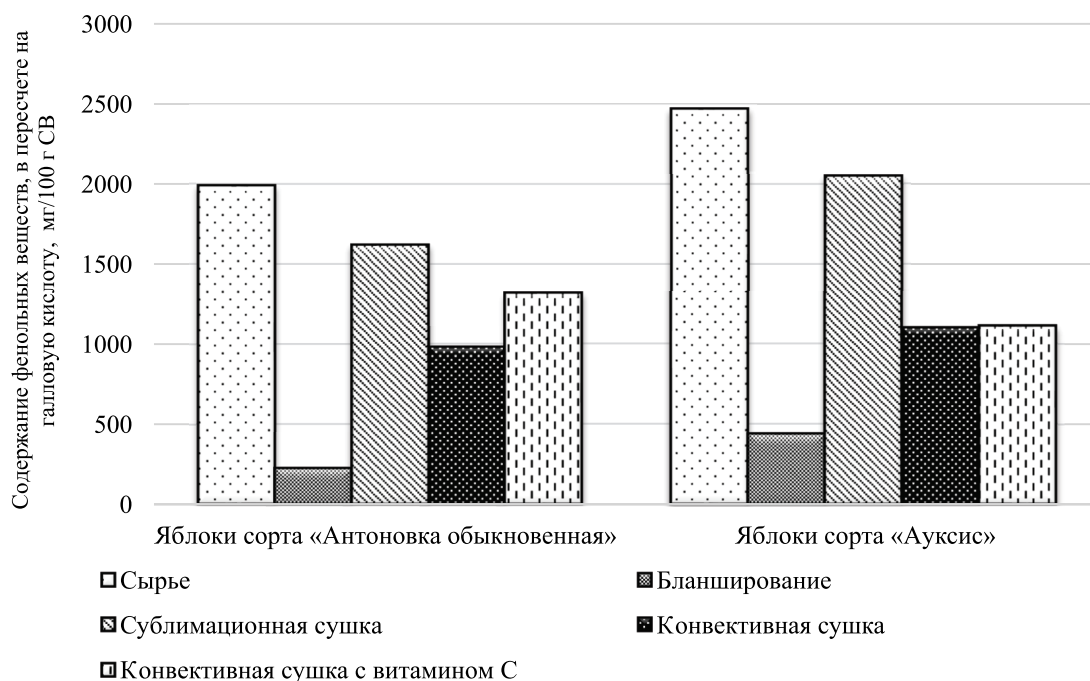


Рис. 2. Изменение содержание фенольных соединений при термической обработке яблок
Fig. 2. Change in the content of phenolic compounds during the heat treatment of apples

Lachman J. and al. привели сведения о увеличении общего содержания некоторых фенольных соединений при термической обработке [18]. Результаты выполненных эксперименталь-

ных исследований яблочных пластин $d = 2$ мм (рис. 2) показали, что бланширование при температуре 85°C в течение 230 с существенно уменьшает содержание фенольных веществ — в среднем на 86 %. Наибольшая сохранность (около 82 %) наблюдалась при использовании сублимационной сушки подготовленного растительного сырья. Конвективное высушивание пластин яблок приводило к снижению содержания фенольных соединений на 50–55%. Обработка яблочных пластин перед конвективным высушиванием в водном растворе, содержащем 1 % аскорбиновой кислоты, снижала потери фенольных веществ до 56 % от исходного количества.

Конечными веществами метаболизма фенилпропаноидных соединений растений являются антоцианы, поэтому далее рассмотрим изменение их содержания в ягодах черной смородины и черники в результате воздействия различных способов термической обработки (рис. 3).

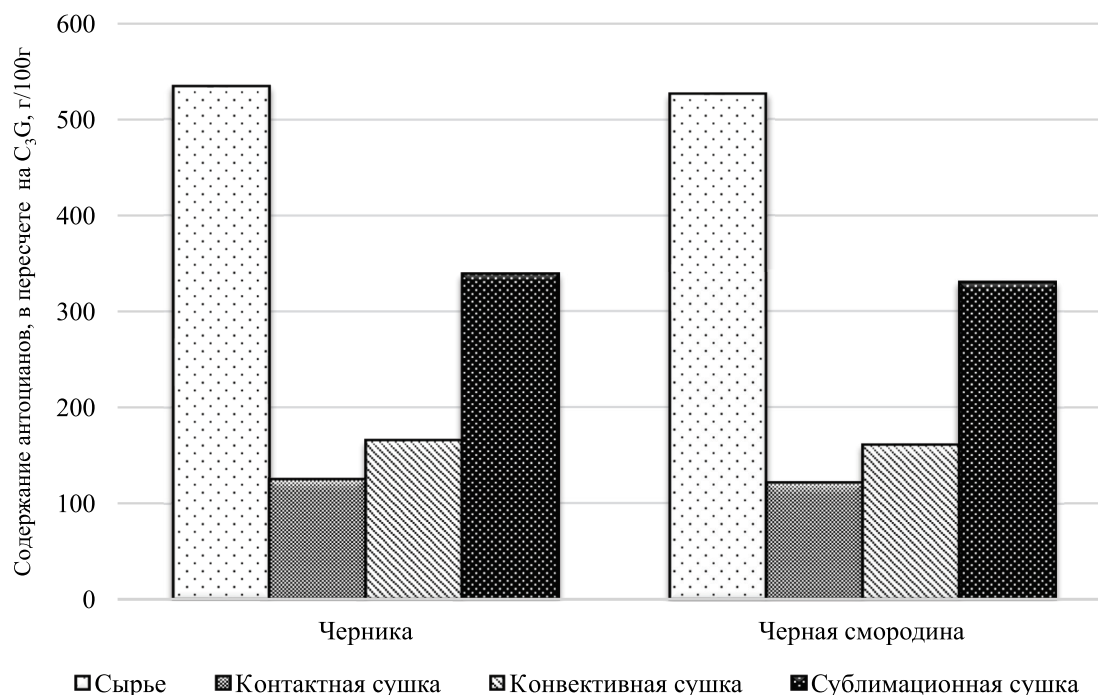


Рис. 3. Изменение содержание антоцианов ягод при термической обработке в пересчете на цианидин-3-глюкозид (C_3G)

Fig. 3. Change in the content of anthocyanins in berries during heat treatment in terms of cyanidin-3-glucoside (C_3G)

Результаты проведенных исследований (рис. 3) показали, что существенное влияние на уменьшение содержания антоцианов в высушенной продукции оказывает контактный и конвективный способы сушки: снижение на 70 и 77 % соответственно. Сублимационная обработка позволяет сохранить до 65 % антоцианов ягодного сырья, что связано с более быстрой инактивацией окислительных ферментов в процессе глубокой заморозки, чем при конвективной и контактной сушке. Полученные данные согласуются с результатами, полученными другими исследователями [7, 19].

Закключение. В результате проведенных исследований определено, что по величине активности воды, содержанию влаги, растворимых сухих веществ, твердости яблоки сортов «Антоновка обыкновенная», «Ауксис», «Имант», ягоды черной смородины и черники были пригодны для переработки.

Наибольшее содержание фенольных соединений обнаружено в ягодах черники — $783 \pm 35,1$ мг/100 г, в то время как среди яблок в сорте «Ауксис» — $381,6 \pm 30,4$ мг/100 г, что обусловлено степенью зрелости, генетическими и морфологическими признаками.

Все виды теплового воздействия привели к снижению содержания фенольных соединений. Существенное влияние на уменьшение содержания биологически активных соединений нарезанных на пластины яблок оказывает бланширование в воде (до 14 % от исходного в сырье), ягод — контактная сушка (до 23 % от исходного в сырье).

Установлено, что с точки зрения сохранения биологически активных соединений, сублимационная сушка превосходит другие виды обработки, поскольку обеспечивает содержание 82 % фенольных веществ, 63 % антоцианов фруктового сырья.

Обработка аскорбиновой кислотой перед высушиванием позволяет сохранить до 17 % фенольных веществ сырья.

Таким образом, все рассмотренные способы обработки фруктов оказывают значительное влияние на содержание биологически активных соединений в продуктах. Полученные данные могут быть использованы при прогнозировании содержания фенольных веществ, в частности антоцианов, при производстве пищевых продуктов и биологически активных добавок из фруктового сырья.

Список использованных источников

1. Тимофеева, В. Н. Технология консервирования фруктов и овощей : учебное пособие / В.Н. Тимофеева. — Минск: Вышэйшая школа, 2021. — 303 с.
2. Пищевая химия / А.П. Нечаев [и др]. — СПб.: ГИОРД, 2001. — 592 с.
3. Молекулярные основы канцерогенеза у человека / Ф. Л. Киселев, О. А. Павлиш, А. Г. Татосян; АН СССР, АМН СССР. — Москва: Медицина, 1990. — 315 с.
4. Запрометов, М. Н. Фенольные соединения: распространение, метаболизм и функция в растениях / М. Н. Запрометов. — М.: Наука, 1993. — 272 с.
5. Химия природных соединений: учебно-методический комплекс для студентов биологических специальностей / УО «ВГУ им. П.М. Машерова»; сост.: Г.П. Кудрявцев, О.В. Мусатова. — Витебск: ВГУ, 2009. — 233 с.
6. Joshi, A.P.K. Impact of drying processes on bioactive phenolics, vitamin C and antioxidant capacity of red-fleshed apple slices. / A.P.K. Joshi, H. P. V. Rupasinghe, S. Khanizadeh // J. Food Process. Preserv. — 2011. — Vol. 35, №4. — P. 453–457.
7. Alterations in phenolic compound levels and antioxidant activity in response to cooking technique effects. / D.C. Murador, A. R. C. Braga, D. da Cunha, V. V. De Rosso // Critical Reviews In Food Science and Nutrition. — 2016. — Vol. 58, №2. — P. 169–177.
8. Ширко, Т. С. Биохимия и качество плодов / Т.С. Ширко, И.В. Ярошевич. — Минск: Навука і тэхніка, 1994. — 294 с.
9. Никитенко, А. Н. Технология чипсов из яблок, районированных на территории Республики Беларусь: автореф. дис. на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.18.01 / А. Н. Никитенко; Могилевский государственный университет продовольствия. — Минск, 2014. — 26 с.
10. Макаркина, М. А. Характеристика сортов смородины черной по содержанию сахаров и органических кислот // М. А. Макаркина, Т. В. Янчук // Современное садоводство. — 2010. — №2. — С. 9–12.
11. Гольдина, И. А. Полифенольные соединения черники: особенности биологической активности и терапевтических свойств // И. А. Гольдина, И. В. Сафронова, К. В. Гайдун // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. — 2015. — № 10, часть 2. — С. 221–228.
12. Фрукты, овощи, грибы и продукты их переработки замороженные. Правила приемки и методы отбора проб: ГОСТ 34110–2017. — Введ. 01.06.2019. — Минск: Госстандарт, 2017. — 12 с.
13. Продукты переработки фруктов и овощей, консервы мясные и мясорастительные. Подготовка проб для лабораторных анализов: ГОСТ 26671–2014. — Введ. 01.10.2016. — Минск: Госстандарт, 2016. — 12 с.
14. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сухих веществ или влаги: ГОСТ 28561–90. — Введ. 01.07.1991. — Минск: Госстандарт, 2011. — 12 с.
15. Продукты переработки фруктов и овощей. Рефрактометрический метод определения растворимых сухих веществ: ГОСТ ISO 2173–2013. — Введ. 01.03.2016. — Минск: Госстандарт, 2016. — 14 с.
16. Продукты пищевые. Определение активности воды: ISO 21807:2017. — Введ. 28.11.2017. — Женева: ISO, 2017. — 5 с.
17. Никитенко, А. Н. Идентификация и выявление фальсификации пищевой продукции. Лабораторный практикум: учеб.-метод. пособие для студентов учреждений высшего образования по специальности 1–54 01 03 «Физико-химические методы и приборы контроля качества продукции» специализации 1–54 01 03 02 «Сертификация продовольственных товаров» / А. Н. Никитенко, З. Е. Егорова. — Минск: БГТУ, 2017. — 161 с.
18. Lachman, J. Effect of peeling and three cooking methods on the content of selected phytochemicals in potato tubers with various colour of flesh. / J. Lachman, K. Hamouz, J. Musilova, et al. // Food Chem. — 2013. — Vol. 138, №2-3. — P. 1189–1197.

19. Sablani, S. S. Effects of air and freeze drying on phytochemical content of conventional and organic berries. / S. S. Sablani, P.K. Andrews, N. M. Davies, T. Walters, H. Saez, L. Bastarachea // *Drying Technol.* — 2011. — Vol. 29, № 2. — P. 205–216.

Информация об авторах

Никитенко Анастасия Николаевна, кандидат технических наук, доцент кафедры физико-химических методов сертификации продукции учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: dennast9@mail.ru

Мазур Анатолий Макарович, доктор технических наук, профессор учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» (пр. Независимости, 99, 220023, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: 6557206@mail.ru

Синило Анастасия Андреевна, студентка учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: sinillo@mail.ru

Клыпутенко Михаил Александрович, студент учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: klyputenko@gmail.ru

Information about authors

Nikitenko Anastasia Nikolaevna, PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Physical and Chemical Methods for Products Certification of the Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: dennast9@mail.ru

Mazur Anatoly Makarovich, Doctor of technical sciences, professor of the Belarusian State Agrarian Technical University (99, Nesavisimosti av., 220023, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: 6557206@mail.ru

Anastasia Sinilo Andreevna, student of the Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: sinillo@mail.ru

Mikhail Klyputenko Aleksandrovich, student of the Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus) E-mail: klyputenko@gmail.ru

УДК 664.642.2

Поступила в редакцию 23.06.2023
Received 23.06.2023**Т. Д. Самуйленко***Учреждение образования «Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий», г. Могилев, Республика Беларусь***ИССЛЕДОВАНИЕ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ЗАКВАШЕННОЙ ЗАВАРКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
НЕТРАДИЦИОННЫХ СЫРЬЕВЫХ КОМПОНЕНТОВ**

Аннотация. В технологии сброженной заварки на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки рационально использовать различные виды фитосырья. Выбор вида фитосырья, способа внесения в состав сброженной заварки зависит от его химического состава, свойств, наличия в Республике Беларусь, опыта использования в пищевой промышленности. Кору дуба, траву эхинацеи пурпурной, лист шалфея и траву полыни горькой можно рассматривать как отечественное фитосырье в технологии сброженной заварки. Установлено, что использование фитосырья в порошкообразном виде наиболее эффективно. Выявлено, что порошки фитосырья стимулируют развитие молочнокислых бактерий *Lactobacillus delbruckii*–76 в следующей последовательности по возрастанию кора дуба, трава полыни горькой, лист шалфея, трава эхинацеи пурпурной. Определена рациональная температура приготовления термофильной заквашенной заварки на основе осахаренной заварки с внесением порошков фитосырья в производственном цикле, которая составляет 45 °С — 50 °С в условиях дискретного режима. Расширен диапазон продолжительности приготовления термофильной заквашенной заварки на основе осахаренной заварки с внесением порошков фитосырья, который составляет от 60 мин до 420 мин.

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

T. D. Samuylenko*Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Mogilev, Republic of Belarus***RESEARCH OF BIOTECHNOLOGICAL PROPERTIES OF THERMOPHILIC
SOURDOUGH USING NON-TRADITIONAL RAW MATERIALS
COMPONENTS INVESTIGATION OF BIOTECHNOLOGICAL PROPERTIES
OF THERMOPHILIC SOURDOUGH USING NON-TRADITIONAL RAW
MATERIALS COMPONENTS**

Abstract. It is rational to use various types of phyto raw materials in the technology of fermented sourdough based on saccharified and thermophilic sourdough. The choice of the type of phyto raw materials, the method of introducing fermented sourdough into the composition depends on its chemical composition, properties, availability in the Republic of Belarus, experience of use in the food industry. Oak bark, Echinacea purpurea grass, sage leaf and wormwood herb are considered as domestic phyto raw materials in the technology of fermented sourdough. It has been established that the use of phyto raw materials in powdered form is most effective. It was revealed that the powders of phyto raw materials stimulate the development of lactic acid bacteria *Lactobacillus delbruckii*–76 in the following ascending sequence: oak bark, wormwood herb, sage leaf, Echinacea purpurea herb. The rational temperature of preparation of thermophilic sourdough based on saccharified sourdough with the introduction of powders of phyto raw materials in the production cycle, which is 45 °C — 50 °C under discrete conditions, has been determined. The range of duration of preparation of thermophilic sourdough based on saccharified sourdough with the introduction of powders of phyto raw materials has been expanded, which ranges from 60 min to 420 min.

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

Введение. Одним из нетрадиционных сырьевых компонентов, используемых в составе жидких ржанных полуфабрикатов, является фитосырье. Его применение обусловлено, в первую очередь, наличием химических веществ, способных влиять на жизнедеятельность как культивируемых, так и контаминантных микроорганизмов. Кроме того, в своем составе фитосырье содержит биологически активные вещества, необходимые для укрепления и сохранения здоровья [1–2].

В технологии жидких ржанных полуфабрикатов используют различные виды фитосырья. Наиболее распространенными являются хмелепродукты (хмелевой экстракт, хмелевые композиции), которые оказывают стимулирующее влияние на дрожжевые клетки и молочнокислые бактерии, интенсифицируют процесс кислотонакопления и газообразования, увеличивают количество ароматобразующих веществ, обуславливающих потребительские свойства хлеба. Хмелепродукты оказывают положительный эффект на ход технологического процесса, качество хлеба, обуславливают его функциональную направленность [3–6].

Используемые экстракты зеленого чая оказывают положительное влияние на ферментативную активность культивируемых микроорганизмов, увеличение их биомассы, что способствует значительному повышению газообразующей и газодерживающей способности полуфабрикатов, улучшению реологических свойств мякиша и увеличению объема хлеба. Для хлебопекарных предприятий южных регионов предложено использование экстракта корня солодки в составе полуфабрикатов, позволяющего улучшить условия жизнедеятельности культивируемых микроорганизмов, а соответственно, интенсифицировать процесс тестоведения, а также повысить в среднем на 28,0 % — 32,0 % качественные показатели, пищевую и биологическую ценность хлеба. С той же целью предложено использовать и порошок корня женьшеня. Широкий ассортимент полуфабрикатов с внесением фитосырья (смеси измельченных трав одуванчика, крапивы, рукколы, кресс-салата, лепестков василька, базилика) предлагает немецкая компания «ВЦСКЕР». Эти растительные компоненты вносят в натуральном виде, что позволяет сохранить их биологические свойства и получить полуфабрикаты и, соответственно, готовую продукцию функциональной направленности. В качестве нетрадиционного фитокомпонента учеными предлагается гибискус розы синенсис, обеспечивающий вкус, аромат, некоторые функциональные свойства и замедляющий процесс черствения хлеба [7–11].

Российскими учеными предложено использование продуктов переработки расторопши пятнистой в составе жидких полуфабрикатов. Установлено, что химические вещества, входящие в состав шрота расторопши пятнистой (флавоноиды, эфирные масла, витамины, минеральные вещества и др.), интенсифицируют комплексное развитие дрожжевых клеток и молочнокислых бактерий полуфабрикатов хлебопекарного производства. Кроме того, использование таких полуфабрикатов для производства хлеба улучшает его микробиологическую чистоту и придает функциональную направленность [12].

В качестве продуктов переработки фитосырья, используемых при производстве хлеба, предлагается использовать бетулинсодержащий экстракт бересты в качестве антиоксиданта, иммуномодулятора и консерванта пищевых продуктов. Его использование в количестве до 0,0065 % от массы муки при производстве хлеба позволяет получить готовую продукцию с увеличенным объемным выходом и пористостью на 5,0 % — 8,0 % и 1,0 % — 2,0 % соответственно [13].

Стоит отметить, что с момента введения культивируемых микроорганизмов в технологический процесс он должен протекать с оптимальными физико-биохимическими параметрами. Именно это обеспечивает необходимые количественные и качественные характеристики биомассы микроорганизмов. Для достижения такого результата предложено использование водных экстрактов различных растений (алоэ, душицы обыкновенной, элеутерококка, мальвы, подорожника, ройбуша, каштана конского, аира, малины обыкновенной, виноградной косточки и омелы обыкновенной). Активаторами жизнедеятельности микроорганизмов выступают ройбуш, виноградная косточка, подорожник, малина, аир. Ингибирующим влиянием обладают мальва и душица. Этот факт используется для моделирования процесса спиртового брожения при производстве хлеба, что позволяет регулировать продолжительность этой технологической стадии в зависимости от различных производственных условий. Кроме того, хлеб обогащается целым набором необходимых для организма пищевых веществ в их натуральной природной форме [14].

В качестве импортозамещающего фитосырья в технологии жидких ржанных заварок, в частности сброженной заварки на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки, предложено использование порошков коры дуба, травы эхинацеи пурпурной, листа шалфея и травы полыни горькой. Это фитосырье содержит в своем составе химические вещества, способные оказывать стимулирующие действие на культивируемые микроорганизмы и подавлять развитие контаминантных микроорганизмов в сырьевых компонентах, полуфабрикатах и готовой продукции. Кроме того, названное фитосырье обладает иммуномоделирующими, противовоспалительными, антиоксидантными, антибиотическими, консервирующими и другими свойствами, повышает биологическую ценность готовой продукции [15–24].

Сброженная заварка, полученная на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки, является многостадийным непрерывно приготавливаемым полуфабрикатом. При внесении в ее состав дополнительного сырья, в том числе и нетрадиционных его видов, исследование биотехнологических свойств полуфабриката должно осуществляться на каждой стадии. Это позволяет сделать комплексное заключение, во-первых, о возможности использования новых видов сырья, а во-вторых, регулировании технологических параметров в таких условиях с целью стабилизации количественного и качественного состава микроорганизмов, обеспечивающих требуемые свойства сброженной заварки на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки.

Ранее были проведены исследования по влиянию названного фитосырья в рецептурном составе осахаренной заварки, используемой в технологии сброженной заварки, на показатели качества и свойства рецептурной смеси, процесс осахаривания [25–26].

Следующим этапом является процесс заквашивания с использованием осахаренной заварки, полученной на основе рецептурной смеси с внесением фитосырья. Исследование влияния фитосырья в рецептурном составе осахаренной заварки на биотехнологические свойства термофильной заквашенной заварки ранее не проводилось и представляет научный и практический интерес. На основании вышесказанного определены цель и задачи настоящего исследования.

Цель исследования — установить влияние фитосырья в рецептурном составе осахаренной заварки на биотехнологические свойства термофильной заквашенной заварки, приготовленной на основе осахаренной заварки, и определить рекомендуемые технологические параметры стадии заквашивания.

Задачи исследования: 1) исследовать изменение общего количества термофильных молочнокислых бактерий *Lactobacillus delbruckii* (штамм 76), их активности и накапливаемого уровня кислотности в термофильной заквашенной заварке при использовании в рецептурном составе осахаренной заварки фитосырья; 2) исследовать изменение биотехнологических свойств термофильной заквашенной заварки при использовании фитосырья и варьировании технологических параметров, свойственного для дискретного режима производства заварного хлеба; 3) установить приемлемые диапазоны стадии заквашивания при использовании в рецептурном составе осахаренной заварки фитосырья в дискретном режиме производства заварного хлеба.

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 %.

Общее количество молочнокислых бактерий устанавливали путем микроскопирования по методу М.П. Юргенсона и И.Ф. Романова. Метод основан на скорости изменения цвета красителя (с голубой окраски в бесцветную окраску) [27]. Кислотность термофильной заквашенной заварки устанавливали методом титрования [27].

Исследования проводили в рамках проекта Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований «Моделирование жизненного цикла дрожжей и молочнокислых бактерий в биотехнологических процессах хлебопекарного производства» (номер государственной регистрации 20163247) [28].

Результаты исследований и их обсуждение. На рис. 1 представлены результаты исследований изменения общего количества молочнокислых бактерий *Lactobacillus delbruckii*–76, культивируемых в термофильной заквашенной заварке на основе осахаренной заварки с внесением порошков фитосырья.

Из рис. 1 видно, что использование порошков фитосырья в составе рецептурной смеси осахаренной заварки привело к стимулированию жизнедеятельности рассматриваемых молочнокислых бактерий в термофильной заквашенной заварке. Изменение их общего количества

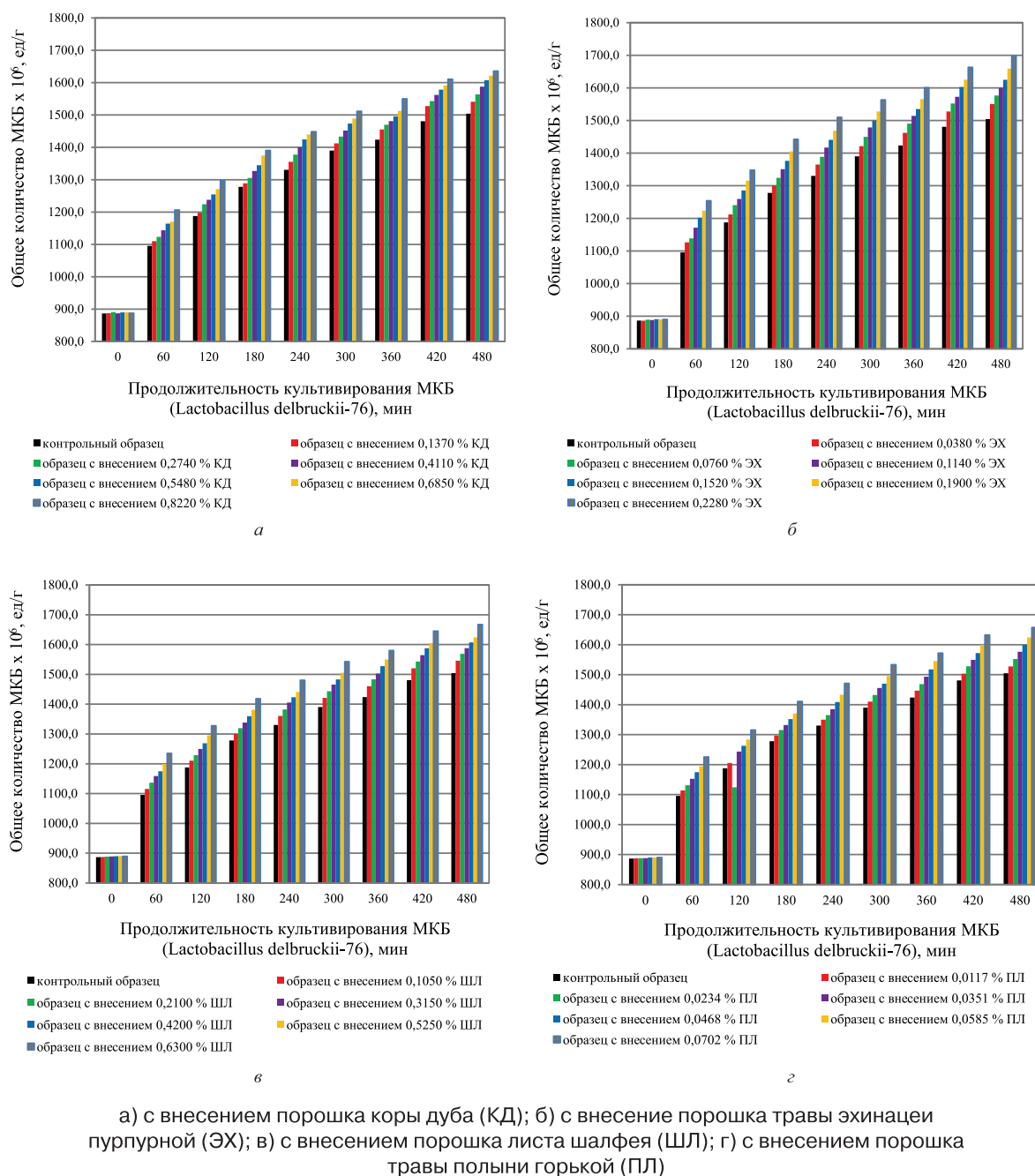


Рис. 1. Изменение общего количества молочнокислых бактерий (МКБ) *Lactobacillus delbrückii*–76, культивируемых в термофильной заваренной заварке на основе осахаренной заварки с внесением фитосырья (% от массы рецептурной смеси осахаренной заварки)

Fig. 1. Change in the total number of lactic acid bacteriums *Lactobacillus delbrückii*–76 cultured in thermophilic sourdough on the basis of saccharified sourdough with the introduction of phyto raw materials (% by weight of the prescription mixture)

зависело от концентрации фитосырья в составе рецептурной смеси и продолжительности культивирования этих микроорганизмов. При использовании в составе рецептурной смеси порошка коры дуба общее количество молочнокислых бактерий в термофильной заваренной заварке увеличилось на $(110,7–131,3) \times 10^6$ ед/г при постоянной продолжительности культивирования и при внесении максимальной концентрации коры дуба. Общее количество молочнокислых бактерий увеличилось на $617,8 \times 10^6$ ед/г для контрольного образца и на $(653,7–748,3) \times 10^6$ ед/г для опытных образцов при совместном увеличении продолжительности культивирования микроорганизмов и концентрации порошка коры дуба. Установлена

идентичная динамика развития молочнокислых бактерий и при использовании других видов фитосырья в составе рецептурных смесей для осахаренной заварки. Общее количество рассматриваемых молочнокислых бактерий в термофильной заквашенной заварке на основе осахаренной заварки увеличилась:

- ♦ на $(158,6-193,5) \times 10^6$ ед/г при постоянной продолжительности культивирования и при внесении максимальной концентрации порошка травы эхинацеи пурпурной;
- ♦ на $(139,7-162,9) \times 10^6$ ед/г при постоянной продолжительности культивирования и при внесении максимальной концентрации порошка листа шалфея;
- ♦ на $(127,9-153,0) \times 10^6$ ед/г при постоянной продолжительности культивирования и при внесении максимальной концентрации порошка травы полыни горькой.
- ♦ Совместное увеличение продолжительности культивирования микроорганизмов и концентрации порошков фитосырья увеличило количество молочнокислых бактерий:
- ♦ на $(664,3-807,5) \times 10^6$ ед/г при использовании рецептурных смесей с внесением порошка травы эхинацеи пурпурной;
- ♦ на $(658,2-777,9) \times 10^6$ ед/г при использовании рецептурных смесей с внесением порошка листа шалфея;
- ♦ на $(639,9-767,0) \times 10^6$ ед/г при использовании рецептурных смесей с внесением порошка травы полыни горькой.

Анализируя полученные результаты можно сказать, что наибольшей стимулирующей способностью для молочнокислых бактерий *Lactobacillus delbruckii*–76 обладает трава эхинацеи пурпурной, затем лист шалфея, трава полыни горькой и кора дуба.

На рис. 2 представлены результаты исследований активности молочнокислых бактерий *Lactobacillus delbruckii*–76, культивируемых в термофильной заквашенной заварке на основе осахаренной заварки с внесением фитосырья.

Результаты, представленные на рис. 2, показывают, что использование порошков фитосырья в составе рецептурной смеси осахаренной заварки для термофильной заквашенной заварки, уменьшает (улучшает) активность молочнокислых бактерий *Lactobacillus delbruckii*–76. Изменение активности молочнокислых бактерий также зависит от концентрации порошков фитосырья в составе рецептурной смеси и продолжительности культивирования названных микроорганизмов. Активность молочнокислых бактерий уменьшается на 12 мин — 28 мин для опытных образцов при фиксированной продолжительности культивирования и при внесении максимальной концентрации порошка коры дуба. Активность молочнокислых бактерий уменьшается на 78 мин для контрольного образца и на 81 мин — 94 мин для опытных образцов при одновременном увеличении продолжительности культивирования названных микроорганизмов до 480 мин и концентрации порошка коры дуба.

Аналогичная динамика получена при использовании в составе рецептурной смеси порошков травы эхинацеи пурпурной, листа шалфея и травы полыни горькой. Активность молочнокислых бактерий уменьшается:

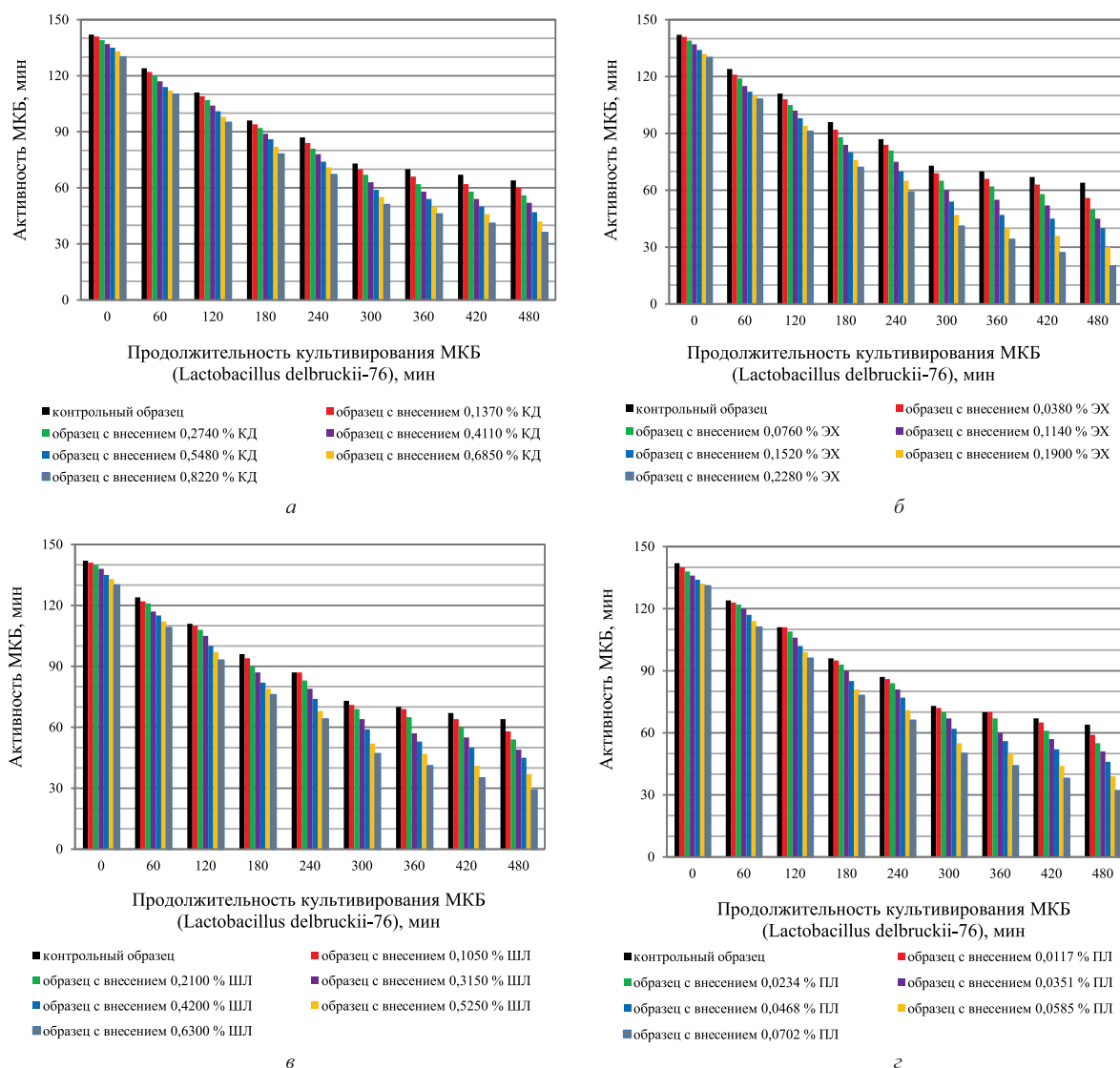
- ♦ на 12 мин — 44 мин при фиксированной продолжительности культивирования и при внесении максимальной концентрации порошка травы эхинацеи пурпурной;
- ♦ на 12 мин — 35 мин при фиксированной продолжительности культивирования и при внесении максимальной концентрации порошка листа шалфея;
- ♦ на 11 мин — 32 мин при фиксированной продолжительности культивирования и при внесении максимальной концентрации порошка травы полыни горькой.

Совместное увеличение продолжительности культивирования до 480 мин и концентрации порошков фитосырья уменьшает активность рассматриваемых молочнокислых бактерий:

- ♦ на 85 мин — 110 мин при использовании в составе рецептурной смеси порошка травы эхинацеи пурпурной;
- ♦ на 83 мин — 101 мин при использовании в составе рецептурной смеси порошка листа шалфея;
- ♦ на 81 мин — 99 мин при использовании в составе рецептурной смеси порошка травы полыни горькой.

Полученные результаты подтверждают ранее сделанные выводы о том, что наибольшей стимулирующей способностью для молочнокислых бактерий *Lactobacillus delbruckii*–76, культивируемых в термофильной заквашенной заварке, обладает трава эхинацеи пурпурной, затем лист шалфея, трава полыни горькой и кора дуба.

Для подтверждения ранее сделанных выводов о стимулирующей способности рассматриваемых порошков фитосырья для молочнокислых бактерий, культивируемых в термофильной заквашенной заварке, проведены исследования изменения показателя кислотности в названном полуфабрикате.



а) с внесением порошка коры дуба (КД); б) с внесением порошка травы эхинацеи пурпурной (ЭХ); в) с внесением порошка листа шалфея (ШЛ); г) с внесением порошка травы полыни горькой (ПЛ)

Рис. 2. Изменение активности молочнокислых бактерий (МКБ) *Lactobacillus delbrückii-76*, культивируемых в термофильной заварке на основе осахаренной заварки с внесением фитосырья (% от массы рецептурной смеси осахаренной заварки)

Fig. 2. Change activity of lactic acid bacteriums *Lactobacillus delbrückii-76* cultured in thermophilic sourdough on the basis of saccharified sourdough with the introduction of phyto raw materials (% by weight of the prescription mixture)

Кислотность термофильной заварки, приготовленной с использованием контрольного образца осахаренной заварки без внесения порошков фитосырья, при традиционной продолжительности заквашивания 150 мин — 180 мин составила 8,6 град., что находится в рекомендуемом технологическими инструкциями диапазоне (8,0 град. — 11,0 град.). При внесении в рецептурную смесь осахаренной заварки порошка коры дуба показатель кислотности термофильной заварки увеличивается и достигает значения 10,0 град. при максимальной концентрации порошка коры дуба. Это косвенно подтверждает результаты ранее проведенных исследований, в которых отмечен прирост общего количества молочнокислых бактерий и их активности при увеличении концентрации порошка коры дуба. Накопление дополнительного количества кислот в термофильной заварке положительно влияет на реологические свойства теста с использованием ржаной муки.

Кроме кислот в термофильной заквашенной заварке пропорционально увеличивается и количество других соединений, которые формируют вкусо-ароматическую характеристику и потребительские свойства готового изделия. Внесение в рецептурный состав осахаренной заварки порошков травы эхинацеи пурпурной, листа шалфея и травы полыни горькой также способствует увеличению показателя кислотности, который для термофильной заквашенной заварки после традиционной продолжительности брожения и использования максимального количества фитосырья составляет 10,6 град., 10,4 град. и 10,2 град. соответственно.

Стоит отметить, что производственный цикл приготовления сброженной заварки на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки, в дискретном режиме производства заварного хлеба является нестабильным как в целом, так и отдельных ее стадий приготовления. В этом случае необходимо учитывать комплекс всех возможных факторов, способных оказывать влияние на биотехнологические свойства полуфабрикатов каждой стадии. При исследовании термофильной заквашенной заварки на ее биотехнологические свойства влияет дополнительно температура приготовления, которая может изменяться в диапазоне от 45 °С до 55 °С.

Исследованы биотехнологические свойства термофильной заквашенной заварки с использованием порошков фитосырья непосредственно в производственном цикле при варьировании продолжительности и температуры приготовления полуфабриката. Установлено, что на биотехнологические свойства термофильной заквашенной заварки с внесением порошков фитосырья в производственном цикле оказывает влияние совместное варьирование температуры и продолжительности приготовления названного полуфабриката. Так при снижении температуры с 55 °С до 45 °С приводит к увеличению общего количества молочнокислых бактерий (для контрольного образца без внесения порошков фитосырья на 5,8 % — 15,2 %), снижению (улучшению) показателя активности (для контрольного образца на 14,2 % — 41,0 %) и увеличению показателя кислотности (для контрольного образца на 5,4 % — 23,1 %) в зависимости от продолжительности брожения. Следует отметить, что варьирование температуры позволяет обоснованно устанавливать продолжительность процесса приготовления, которая для контрольного образца находится в интервале от 120 мин до 420 мин. Такой широкий диапазон является преимуществом при приготовлении рассматриваемого полуфабриката в производственном цикле для хлебопекарных предприятий, работающих в дискретном режиме. Внесение в рецептурный состав осахаренной заварки, используемой в качестве основы для термофильной заквашенной заварки, фитосырья позволяет улучшить биотехнологические свойства термофильной заквашенной заварки в период всей продолжительности приготовления в диапазоне рассматриваемых температур. Диапазон продолжительности процесса расширяется и составляет 60 мин — 420 мин в зависимости от температуры, вида и концентрации порошков фитосырья. При температуре заквашивания 55 °С улучшение биотехнологических свойств всех образцов полуфабрикатов происходило менее динамично по сравнению с этими свойствами, исследуемыми при температуре 45 °С и 50 °С. Особенностью являлось только возможность увеличения продолжительности стадии приготовления до 420 мин. Достижение такой продолжительности может быть осуществлена другими менее энергоемкими затратами, например варьированием количества полуфабриката с предыдущей стадии технологического цикла. Поэтому оптимальной температурой приготовления термофильной заквашенной заварки с внесением порошков фитосырья следует считать температуру 45 °С — 50 °С, которая позволяет устанавливать продолжительность готовности термофильной заквашенной заварки в диапазоне 60 мин — 360 мин в зависимости от вида и концентрации порошков фитосырья.

Варьирование количества используемой осахаренной заварки с внесением порошков фитосырья для приготовления термофильной заквашенной заварки несколько меняет динамику кислотонакопления в полуфабрикате. При использовании порошков коры дуба и травы полыни горькой в зависимости от их концентрации стабилизация показателя кислотности отмечается в течение 60 мин — 420 мин путем регулярного внесения 20 % — 80 % осахаренной заварки для приготовления термофильной заквашенной заварки в производственном цикле на всем диапазоне исследуемых температур (45 °С — 50 °С). При использовании порошков травы эхинацеи пурпурной и листа шалфея в зависимости от их концентрации стабилизация показателя кислотности отмечается в течение 60 мин — 300 мин путем регулярного внесения 20 % — 80 % осахаренной заварки для приготовления термофильной заквашенной заварки в производственном цикле на всем диапазоне исследуемых температур (45 °С — 50 °С).

Таким образом, варьируя рецептурный состав осахаренной заварки, используемой в качестве основы для термофильной заквашенной заварки, количество осахаренной заварки можно обеспечить требуемые биотехнологические свойства термофильной заквашенной

заварки в диапазоне температур 45 °С — 50 °С. Это является основополагающим моментом при приготовлении термофильной заквашенной заварки для хлебопекарных предприятий, работающих в дискретном производственном режиме.

Полученные положительные результаты проведенных исследований были запатентованы [29].

Заключение. Проведенный анализ опыта использования фитосырья в составе жидких ржаных полуфабрикатов показал, что выбор вида фитосырья и формы его внесения в состав полуфабриката зависит от химического состава фитосырья, его свойств, наличие возможности его возделывания и переработки в рассматриваемом регионе, возможности и опыта использования в пищевой промышленности. На основании этого кору дуба, траву эхинацеи пурпурной, лист шалфея и траву полыни горькой можно позиционировать как импортозамещающее фитосырье для жидких ржаных полуфабрикатов, в частности сброженной заварки на основе осахаренной и термофильной заквашенной заварки. Предложена самая эффективная форма внесения фитосырья в виде порошка, позволяющая эффективно смешивать с мукой и снижающая затраты при хранении, в отличие от экстрактов, настоев и других форм фитосырья.

Получены новые данные о жизнедеятельности молочнокислых бактерий, культивируемых в термофильной заквашенной заварке на основе осахаренной заварки с внесением порошков фитосырья. Установлено, что порошки фитосырья обладают стимулирующей способностью для молочнокислых бактерий *Lactobacillus delbruckii*–76 в следующей последовательности по возрастанию кора дуба, трава полыни горькой, лист шалфея, трава эхинацеи пурпурной. Выявлена рациональная температура приготовления термофильной заквашенной заварки на основе осахаренной заварки с внесением порошков фитосырья в производственном цикле, которая составляет 45 °С — 50 °С в условиях дискретного режима работы хлебопекарных предприятий. Показана возможность расширения диапазона приготовления термофильной заквашенной заварки на основе осахаренной заварки с внесением порошков фитосырья, которая составляет от 60 мин до 420 мин по сравнению с традиционным диапазоном 150 мин — 180 мин и может регулироваться видом используемого фитосырья, его концентрацией, количеством вносимой осахаренной заварки при приготовлении термофильной заквашенной заварки.

Список использованных источников

1. Почицкая, И. М. Содержание природных антиоксидантов в растительном сырье / И. М. Почицкая, В. Л. Рослик, И. М. Минчук // Пищевая промышленность: наука и технологии. — 2009. — №3. — С. 93–97.
2. Оценка влияния порошков из лекарственного растительного сырья на сохраняемость пищевых продуктов / С. Л. Масанский [и др.] // Пищевая промышленность: наука и технологии. — 2010. — №4. — С. 36–39.
3. Изучения влияния хмелевого экстракта на микробиологические и биохимические показатели жидкой ржаной закваски / Н. М. Дерканосова [и др.] // Хлебопек. — 2007. — №3. — С. 22–25.
4. Реологические свойства теста, приготовленного на жидкой ржаной закваске с хмелевым экстрактом / Н. М. Дерканосова [и др.] // Хлебопродукты. — 2008. — №5. — С. 60–61.
5. Способ получения жидкой ржаной закваски : пат. RU 2314698 / Г. О. Магомедов, Н. М. Дерканосова, Е. В. Белокурова, Л. В. Белокурова. — Оpubл. 20.01.2008.
6. Хмелевская, А. В. Влияние биологически активных веществ дикорастущего хмеля на жизнедеятельность хлебопекарных дрожжей / А. В. Хмелевская, Д. В. Швец // Известия вузов. Пищевая технология. — 2013. — №1. — С. 33–34.
7. Пучкова, Л. И. Экстракт зеленого чая — источник биофлавоноидов в хлебобулочных изделиях функционального назначения / Л. И. Пучкова, И. Г. Белявская, Ж. М. Жамукова // Хлебопечение России. — 2004. — №2. — С. 26.
8. Щеголева, И. Д. Применение зеленого чая в технологии производства пшеничного хлеба / И. Д. Щеголева, М. Б. Мойсеяк // Хлебопечение России. — 2014. — №2. — С. 18–20.
9. Кириева, Т. В. Применение молочнокислой закваски, культивируемой на экстракте из корня солодки, в производстве хлеба / Т. В. Кириева, Н. Н. Гатько // Известия вузов. Пищевая технология. — 2008. — №2-3. — С. 45–47.
10. Пищевые ингредиенты в производстве хлебобулочных и мучных кондитерских изделий: монография. — М.: ДеЛи плюс, 2013. — 526 с.
11. Георгиева, А. В. Исследование возможности производства хлеба, обогащенного гибискусом розы синенсис / А. В. Георгиева // Пищевая промышленность: наука и технологии. — 2014. — №4. — С. 39–45.

12. Цыганова, Т. Б. Влияние продуктов переработки расторопши пятнистой на микрофлору полуфабрикатов и микробиологическую чистоту хлеба / Т. Б. Цыганова, Н. Г. Семенкина, Т. В. Быковченко // Хлебопечение России. — 2013. — №6. — С. 27–29.
13. Костюченко, М. Н. Влияние бетулинсодержащего экстракта бересты на хлебопекарные свойства пшеничной муки / М. Н. Костюченко, Г. Ф. Дремучева, А. Ю. Веселова // Хлебопечение России. — 2014. — №1. — С. 22–23.
14. Качмазов, Г. С. Использование растительных компонентов для усиления бродительной активности хлебопекарных дрожжей / Г. С. Качмазов, У. В. Багаева, В. А. Кочиева // Хранение и переработка сельхозсырья. — 2015. — №7. — С. 16–20.
15. Гуринова, Т. А. Влияние коры дуба на дрожжевые клетки, культивируемые в жидкой закваске / Т. А. Гуринова, Т. Д. Самуйленко, Е. А. Назаренко // Вестник Могилевского государственного университета продовольствия. — 2014. — №2 (17). — С. 20–25.
16. Miller, D. P. The content of phenolic acid and aldehyde flavor components of white oak as affected by site and species / D. P. Miller [etal.] // Am. J. Enol. Vitic. — 1992. — Vol. 43. — P. 333–338.
17. Масанский, С. Л. Антиокислительная активность спиртовых экстрактов коры и листьев деревьев и кустарников / С. Л. Масанский, А. М. Смагин // Известия вузов. Пищевая технология. — 2005. — №1. — С. 55–56.
18. Толкунова, Н. Н. Влияние экстрактов лекарственных растений на развитие микроорганизмов / Н. Н. Толкунова, Е. Н. Чуева, А. Я. Бидюк // Пищевая промышленность. — 2002. — №8. — С. 70–71.
19. Способ приготовления жидкой закваски с завариванием части муки и способ приготовления хлеба из ржаной муки и/или смеси ржаной и пшеничной муки с использованием жидкой закваски : пат. Респ. Беларусь 19954 / Т. А. Гуринова, Т. Д. Самуйленко. — Оpubл. 30.04.2016.
20. Древин, В. Е. Технология хлебобулочных изделий на основе пшеничной муки с добавлением эхинацеи / В. Е. Древин [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. — 2013. — №12. — С. 41–42.
21. Мучной полуфабрикат для приготовления хлебобулочных изделий из смеси ржаной и пшеничной муки повышенной пищевой ценности : пат. Респ. Беларусь 19754 / Т. А. Гуринова, И. С. Косцова, Т. Д. Самуйленко. — Оpubл. 30.12.2015.
22. Как использовать шалфей в кулинарии при приготовлении вкусных блюд? [Текст] // Herbs, spices and essential oils/ Душистые дары растительного мира. Сайт о специях, пряностях, эфирных маслах [Электронный ресурс]. — 2016. — Режим доступа: <http://vseprynosti.ru/shalfej-v-kulinarii.html>. — Дата доступа: 02.06.2016.
23. Пищевая добавка из листьев полыни обыкновенной (чернобыльника): пат. RU 2353106 / А. Ф. Абрамов, В. Т. Васильева, В. Г. Андреева. — Оpubл. 27.04.2009.
24. Лекарственные растения: биоразнообразие, технологии, применение: сборник научных статей по материалам I Международной научно-практической конференции. — Гродно: ГТАУ, 2014. — 276 с.
25. Самуйленко, Т. Д. Влияние процесса осахаривания на биотехнологические свойства термофильной заквашенной заварки / Т. Д. Самуйленко // Пищевая промышленность: наука и технологии. — 2022. — №2. — С. 11–21. ([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)).
26. Акулич, А. В. Особенности рынка хлебопечения и перспективные направления развития хлебопекарной отрасли Беларуси и России / А. В. Акулич, М. Н. Костюченко, М. Г. Балыхин, Т. Д. Самуйленко, И. И. Шапошников // Хранение и переработка сельхозсырья. — 2022. — №3. — С. 187–209. (<https://doi.org/10.36107/spfr.2022.349>).
27. Афанасьева, О. В. Микробиология хлебопекарного производства / О. В. Афанасьева. — СПб.: Береста, 2003. — 220 с.
28. 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.
29. Состав сухой мучной питательной смеси и способ приготовления осахаренной заквашенной сброженной заварки с использованием сухой мучной питательной смеси в производственном цикле : евразийский патент 039501 / Т. Д. Самуйленко. — Оpubл. 03.02.2022.

Информация об авторах

Самуйленко Татьяна Дмитриевна, кандидат технических наук, доцент, заведующая аспирантурой, учреждение образования «Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий» (212027, Республика Беларусь, г. Могилев, пр-т Шмидта, д. 3).

E-mail: TataSam@tut.by

Information about authors

Samuylenko Tatyana Dmitrievna, PhD (Engineering), 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

УДК 664.85

Поступила в редакцию 12.04.2023
Received 12.04.2023**С. Г. Каманова¹, И. Ж. Темирова², А. Б. Альдиева², Г. Х. Оспанкулова²**¹*Колледж пищевых наук и инженерии, Северо-Западный университет сельского и лесного хозяйства, Янлин, Шэньси, Китайская Народная Республика*²*НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина», г. Астана, Республика Казахстан*

ВЛИЯНИЕ СУБЛИМАЦИОННОЙ СУШКИ НА ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЯГОД ГОЛУБИКИ

Аннотация. Полезные свойства голубики давно известны, сегодня она активно используется в фармацевтике и кулинарии, являясь важнейшим ингредиентом уникальных лекарственных препаратов, а также изысканных десертов, прохладительных напитков, аппетитной выпечки. Популярность ягоды стремительно растет, однако ягоды из-за высокого содержания влаги в составе, являются скоропортящимися продуктами. После сбора в ягодах начинается интенсивно протекать процесс дыхания, который приводит к изменению вкусовых качеств, а также к разрушению органических кислот и углеводов. Поэтому, важным направлением науки является разработка эффективных технологий, обеспечивающих сохранность всех полезных компонентов в ягодах в течение длительного времени. Целью настоящей работы является изучения влияния параметров сублимационной сушки на органолептические свойства и химический состав ягод голубики. В статье представлены результаты биохимических показателей ягод голубики до и после сублимационной сушки. В исследованиях применялись общепринятые химические и аналитические методы. В результате исследований установлено, что снижение биохимических показателей ягод голубики имеет зависимость от температуры полок и времени сублимации. Результаты выполненных экспериментов будут использованы при разработке технологии сублимационной сушки ягод.

Благодарность. Данное исследование было профинансировано Министерством сельского хозяйства Республики Казахстан ИРН: BR10765062 «Разработка технологии по обеспечению сохранности качества сельскохозяйственного сырья и продуктов переработки в целях снижения потерь при различных способах хранения».

Ключевые слова: голубика; витамины; сахара; антиоксидантная активность; полифенолы; антоцианы.

S. G. Kamanova¹, I. Zh. Temirova², A. B. Aldiyeva², G. Kh. Ospankulova²¹*College of Food Sciences and Engineering, Northwestern University of Agriculture and Forestry, Yangling, Shaanxi, China*²*S. Seifullin Kazakh Agro Technical Research University, Astana, Republic of Kazakhstan*

THE EFFECT OF FREEZE-DRYING ON THE ORGANOLEPTIC PROPERTIES AND CHEMICAL COMPOSITION OF BLUEBERRIES

Abstract. The useful properties of the blueberry have been known since time immemorial and today it is actively used in pharmaceutical and culinary industries, being the most important ingredient of unique medicines, as well as exquisite desserts, refreshing drinks and appetizing baked goods. The popularity of the berry is growing rapidly, however, because of their high moisture content, they occur as perishable products. After picking in berries, intense process of respiration begins, which leads to a change in taste, as well as the destruction of organic acids and carbohydrates. Therefore, development of effective technologies that ensure the preservation of all the useful components in berries for a long time are becoming an important area of science. The aim of this work is to study the effect of freeze-drying parameters on organoleptic properties and chemical composition of blueberries. The article presents the results of biochemical parameters of blueberries before and after freeze-drying. The research used conventional chemical and analytical methods. As a result of the research, it was found that the reduction of biochemical parameters of blueberries has a dependence on the shelf temperature and sublimation time. The results of the performed experiments will be used in the development of the technology of freeze-drying of berries.

Acknowledgements. This study was funded by the Ministry of Agriculture of the Republic of Kazakhstan IRN: BR10765062 “Development of technology to ensure the preservation of the quality of raw agricultural materials and processed products in order to reduce losses in various methods of storage.”

Keywords: blueberry, vitamins, sugars, antioxidant activity, polyphenols, anthocyanins.

Введение. Голубика считается натуральным продуктом для здоровья, содержащим различные классы биологически активных соединений, которые вносят свой вклад во многие общеизвестные преимущества для здоровья. Ягоды голубики являются богатым источником флавоноидов, фенольных кислот, антоцианов, стильбенов и дубильных веществ, а также питательных соединений, таких как сахара, эфирные масла, каротиноиды, витамины и минералы [1, 2]. Голубика является важным источником минералов и витаминов — марганца, витамина А, железа, кальция, витамина К, витамина Е, цинка, фосфора и селена, а также богата антиоксидантами, клетчаткой, органическими кислотами и т.д. [3–5].

Содержание и состав полифенолов в голубике зависит от условий произрастания, способов возделывания, сроков созревания и других условий [6, 7]. В работе Джованелла и др. (2009) опубликованы сведения о том, что содержание общих фенолов и общих антоцианов в ягоде голубики варьирует от 250 до 310 мг 100 г⁻¹ и от 92 до 126 мг 100 г⁻¹ соответственно. Данные аналогичны тем, о которых сообщают Prior et.al. (1998), по результатам исследований которых общее количество фенолов составляет от 233 до 273 мг 100 г⁻¹ и антоцианов от 62 до 157 мг 100 г⁻¹ [8].

Установлено благотворное влияние голубики на организм человека при ряде хронических заболеваний, включая рак, сердечно-сосудистые расстройства, диабет и нейродегенеративные заболевания, защитное действие на зрительную функцию при воспалении сетчатки. Полезные свойства культуры связаны с обилием антиоксидантов в этих ягодах [9, 10]. Антиоксиданты помогают защитить организм от повреждений, вызванных свободными радикалами, болезней и ускоренного старения.

Свежие ягоды, содержащие большое количество воды и биологически активные соединения, являются скоропортящимся продуктом. Сушка — один из самых эффективных методов обработки для продления срока хранения ягодных продуктов, при котором питательные вещества и активные компоненты ягод могут быть сохранены в значительной степени [11, 12]. Сублимационная сушка считается одним из лучших методов сохранения органолептических и питательных свойств биологических продуктов [13]. Сублимированные продукты характеризуются низкой активностью воды, незначительными изменениями объема и формы, высокой способностью к регидратации, повышенной пористостью и стекловидным состоянием [14].

Целью настоящих исследований являлось изучение влияния параметров процесса сублимационной сушки на сохранность нутриентов и органолептические свойства ягод голубики.

Материалы и методы исследований. Объекты исследования — голубика сорта «Блюголд» (рис. 1). Все пробы ягод отбирались в фазу полной спелости в Алматинской области, с. Есик, питомник «Драган».



а



б

Рис. 1. Ягоды голубики сорта «Блюголд» (а — свежая, б — сублимированная)

Fig. 1. Bluegold blueberries (a — fresh, b — freeze-dried)

Вакуумная сублимационная сушка ягод осуществлялась в сублиматоре СБ 2 (Россия). Эксперименты проводились при температуре десублиматора -40°C , температура предварительного замораживания ягод внутри продукта составляла -20°C . Температура нагрева полок в промежуток $+35-50^{\circ}\text{C}$ (с шагом 5°C) и длительности сублимации 18–22 часов (с шагом 2 ч).

При проведении исследований использовали ГОСТ ISO 13299-2015 Органолептический анализ. Методология. Общее руководство по составлению органолептического профиля. *Organoleptic analysis. Methodology. General guidance for establishing an organoleptic profile*, ГОСТ 32896-2014 Фрукты сушеные. Общие технические условия.

Определение витаминов проводилось согласно ГОСТ 51635-2011, 12822-2014, М-04-41-2005 методом капиллярного зонного электрофореза на приборе Капель М-105.

Сахара определялись согласно ГОСТ 53152-2008 на высокоэффективном жидкостном хроматографе (ВЖХ) «AGILENT-1200» с диодно-матричным и флуоресцентным детекторами.

Общее содержание полифенолов определялось методом Folin & Ciocalteu (Singleton et al., 1999) [15] с некоторой модификацией процедуры подготовки образцов, как описано ниже. Галловая кислота и фенольный реагент Folin & Ciocalteu были приобретены у Sigma-Aldrich. Вода очищалась с помощью устройства Millipore Q-POD element. Экстракт смешивался с реагентом Folin & Ciocalteu и раствором карбоната натрия. Сумма общих фенольных соединений определялась с помощью двухлучевого спектрофотометра UV-1800 и выражалась в эквивалентах галловой кислоты (GAE, мг галловой кислоты /100 г образца) через калибровочную кривую галловой кислоты. Абсорбция раствора определялась при 750 нм.

Определение общего количества антоцианов проводилось спектрофотометрическим методом, согласно методике Benvenuti, S. (2004) [16], в качестве стандарта использовался цианидин-3-глюкозид. Экстракты разбавлялись до объема 100 мл двумя буферами с pH 1,0 и pH 4,5. После 20-минутной инкубации при комнатной температуре измерялось поглощение при 510 и 700 нм. Содержание антоцианов рассчитывали, используя молярный коэффициент экстинкции цианидин-3-глюкозида, равный 26 900, молекулярную массу 449,2 и коэффициент поглощения $A = (A_{510} - A_{700}) \text{ pH } 1,0 - (A_{510} - A_{700}) \text{ pH } 4,5$.

Определение антиоксидантной активности проводилось согласно методике к прибору «ЦветЯуза-01-AA».

Оценка результатов экспериментов осуществлена общепринятыми методами математической статистики.

Результаты исследований и их обсуждение. Одними из важных показателей, обуславливающих качество сублимированных ягод и последующий рыночный спрос, являются органолептические свойства, которые напрямую зависят от способов и параметров сушки. Результаты исследований по влиянию различных параметров сушки на органолептические показатели сублимированных ягод голубики приведены на рис. 2.

В результате проведенных экспериментов установлено, что в сублимированных ягодах голубики по мере увеличения температуры полок и времени сублимации снижаются органолептические показатели, а соответственно и качество готового продукта. Так, при температуре полок $35, 40^{\circ}\text{C}$, времени 18, 20, 22 часа наблюдались незначительные изменения органолептических показателей, однако ягода была не досушена, а при температуре полок 35°C незначительно отличалась от свежей. К примеру, при температуре 35°C внешний вид согласно бальной системе оценки составил 4,96, цвет — 4,91, вкус и запах — 4,9 баллов. При температуре 40°C внешний вид ягоды оценили в 4,88, цвет — 4,87, вкус и запах — 4,82 баллов. Оптимальные параметры сублимационной сушки ягод голубики были установлены при температуре полок 45°C и времени сублимации 20 ч, при этих параметрах ягода голубики обладала высокими органолептическими показателями: внешний вид составил — 4,81, цвет — 4,79, вкус и запах — 4,82 балла. Увеличение температуры полок до 50°C на всех временных промежутках отрицательно повлияло на качество сублимированной ягоды, наблюдалось ухудшение внешнего вида, крошковатость, потемнение, вкус и запах горечи. Внешний вид при сушке 18 ч составил 4,62 балла и заметно снижался при сушке 22 ч составив 4,46 балла, цвет ягод при 18 ч — 4,58, тогда как при 22 ч — 4,41 баллов, вкус и запах при 18 ч — 4,71 и при 22 ч — 4,43 баллов. В связи с вышеизложенным увеличение температуры полок до 50°C не рекомендуется.

Биохимический состав ягод как сырья для технологических разработок определяется различными показателями, которые всесторонне характеризуют их свойства, потребительскую ценность, назначение. Изучено влияние различного времени сублимирования и различной температуры полок сублимационной сушки на общее содержание витаминов, сахаров, полифенолов, антоцианов и антиоксидантной активности в ягодах голубики, результаты приведены в табл. 1.

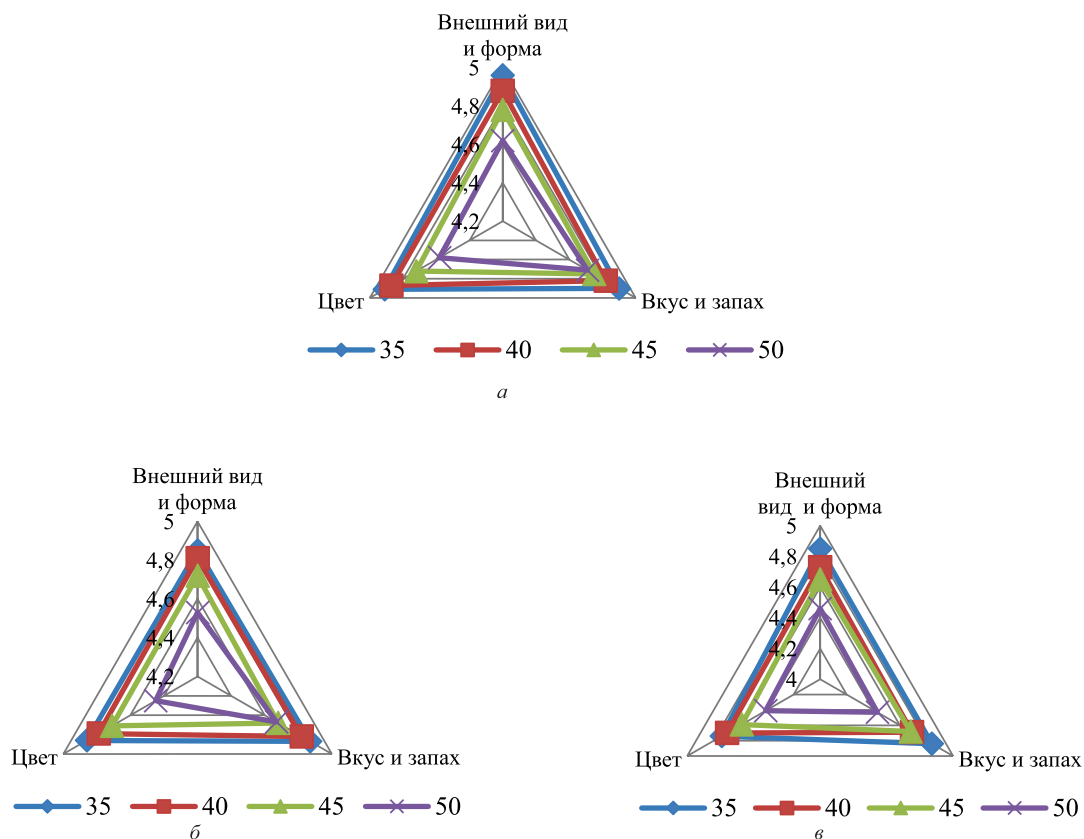


Рис. 2. Органолептические показатели голубики при длительности сублимации 18 (а), 20 (б), 22 (в) часа

Fig. 2. Organoleptic characteristics of blueberries at sublimation time of 18 (a), 20 (b), 22 (c) hours

Таблица 1. Биохимические показатели голубики до и после сублимации
Table 1. Biochemical parameters of blueberries before and after sublimation

Наименование показателя	Время сублимации, ч	Температура полки при сублимации, °C			
		35	40	45	50
Витамины, мкг/100 г	Свежая	9.005±0.017			
	18	7.98±0.021	7.86±0.021	7.69±0.015	7.55±0.035
	20	7.94±0.019	7.87±0.023	7.76±0.022	7.35±0.017
	22	6.37±0.013	6.25±0.016	6.07±0.028	5.79±0.013
Сахара, %	Свежая	5.25±0.016			
	18	4.68±0.002	4.56±0.023	4.48±0.028	4.33±0.016
	20	4.52±0.009	4.35±0.008	4.29±0.019	4.06±0.008
	22	3.65±0.014	3.58±0.019	3.46±0.013	3.31±0.023
Полифенолы, г/100 г	Свежая	62.83±0.0018			
	18	62.79±0.0023	48.54±0.0011	45.08±0.0056	42.41±0.012
	20	47.97±0.0007	42.98±0.0012	39.15±0.0012	36.34±0.023
	22	43.93±0.0025	37.07±0.0017	31.27±0.0020	26.94±0.005
Антоцианы, г/100г	Свежая	24.86±0.017			
	18	23.24±0.021	23.03±0.021	19.68±0.015	15.01±0.035
	20	21.39±0.019	19.77±0.023	14.81±0.022	12.78±0.017
	22	20.66±0.013	16.81±0.016	12.31±0.028	8.60±0.013
Содержание антиоксидантов, мг/г	Свежая	3.39±0.031			
	18	3.21±0.018	3.26±0.013	3.38±0.029	3.25±0.027
	20	3.18±0.005	3.11±0.023	3.06±0.028	3.03±0.019
	22	2.98±0.014	2.81±0.044	2.76±0.032	2.71±0.013

Исследования показали, что для ягоды голубики в зависимости от температуры полок и времени сублимационной сушки наблюдается снижение биохимических показателей. Н Максимальная сохранность полезных веществ в голубике определена при температуре полок 35 °С, времени сушки 18 часов, наименьшая при температуре полок 50 °С и времени сушки 22 часа. Так, к примеру, при температуре полок 35 °С и времени сублимации 18 ч содержание витаминов снизилось на 11,4%, сахаров — 17,5 %, полифенолов — 0,1 %, антоцианов — 6,5 %, антиоксидантной активности — 5,3 %. При температуре полок 35 °С, времени 20 ч содержание витаминов снизилось на 11,8 %, сахаров — 13,9 %, полифенолов — 23,7 %, антоцианов — 14 %, антиоксидантной активности — 6,2 %. При температуре полок 35 °С, времени 22 ч содержание витаминов снизилось на 29,2%, сахаров — 30,5 %, полифенолов — 30,1 %, антоцианов — 16,9 %, антиоксидантной активности — 12,1 %.

При сублимации, проходящей при температуре полок 50 °С, времени 18 ч, содержание витаминов снизилось на 16,1 %, сахаров — 22,7 %, полифенолов — 32,5 %, антоцианов — 39,6 %, антиоксидантной активности — 4,2 %. Тогда как при температуре полок 50 °С, времени 20 ч наблюдалось снижение содержания витаминов на 18,4 %, сахаров — 22,7 %, полифенолов — 42,2 %, антоцианов — 48,6 %, антиоксидантной активности — на 10,6 %. Наименьшая сохранность установлена при температуре полок 50 °С, времени сублимации 22 ч, снижение витаминов составило 35,7 %, сахаров — 37 %, полифенолов — 57,1 %, антоцианов — 65,4 %, антиоксидантной активности — 20,1 %.

Активные соединения ягод полифенолы и антоцианы в процессе сушки окисляются и подвергаются термической деградации, особенно при высоких температурах. Количество антоцианов линейно уменьшается с повышением температуры сушки. Такая же закономерность наблюдается с содержанием полифенолов. Установлено, что увеличение температуры полок и времени сублимации оказывает отрицательное воздействие в большей степени на сохранность полифенолов и антоцианов.

В этом исследовании изучалось влияние сублимационной сушки ягод голубики на их органолептические свойства и биохимические показатели в зависимости от температуры полок и времени сублимации в сравнении со свежей ягодой. В результате исследований установлено, что наименьшее снижение показателей наблюдается при температуре полок 35 °С, времени сублимации 18 ч и составила для витаминов — 11,4 %, сахара — 10,9 %, полифенолы — 0,1 %, антоцианы — 6,5 %, антиоксидантная активность — 5,3 %. Наибольшее снижение данных показателей наблюдалось при температуре полок 50 °С, времени сублимации 22 ч и составила для витаминов — 35,7 %, сахара — 37 %, полифенолы — 57,1 %, антоцианы — 65,4 %, антиоксидантная активность — 20,1 %.

По сравнению с образцами свежей ягоды, высушенные сублимацией ягоды, при длительности процесса сушки 18 и 20 часов потеряли незначительное содержание ценных компонентов. Увеличение времени сублимации ягод голубики до 22 часов значительно снижает уровень содержания витаминов и сахаров.

Заключение. Таким образом, в результате исследований установлено, что при сублимировании ягод голубики на органолептические свойства и химический состав оказывают влияние температура полок и время сублимации. На основании проведенных исследований установлены оптимальные параметры сублимационной сушки ягод голубики, при которых сохраняются качество и состав готовых продуктов: температура полок 45 °С, время сублимации 20 ч.

Список использованных источников

1. Nile, S. H., & Park, S. W. (2014). Edible berries: Bioactive components and their effect on human health. *Nutrition*, 30(2), 134-144.
2. Sinelli, N., Spinardi, A., Di Egidio, V., Mignani, I., & Casiraghi, E. (2008). Evaluation of quality and nutraceutical content of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) by near and mid-infrared spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, 50(1), 31-36.
3. Skesters, A., Kleiner, D., Blázovics, A., May, Z., Kurucz, D., & Szentmihályi, K. (2014). Mineral element content and antioxidant capacity of some Latvian berries.
4. Skupień, K. (2006). Chemical composition of selected cultivars of highbush blueberry fruit (*Vaccinium corymbosum* L.). *Folia Horticulturae*, 18(2), 47-56.
5. Grembecka, M., & Szefer, P. (2013). Comparative assessment of essential and heavy metals in fruits from different geographical origins. *Environmental monitoring and assessment*, 185, 9139-9160.
6. Giovanelli, G., & Buratti, S. (2009). Comparison of polyphenolic composition and antioxidant activity of wild Italian blueberries and some cultivated varieties. *Food chemistry*, 112(4), 903-908.

7. Sellappan, S., Akoh, C. C., & Krewer, G. (2002). Phenolic compounds and antioxidant capacity of Georgia-grown blueberries and blackberries. *Journal of agricultural and food chemistry*, 50(8), 2432-2438.
8. Prior, R. L., Cao, G., Martin, A., Sofic, E., McEwen, J., O'Brien, C., ... & Mainland, C. M. (1998). Antioxidant capacity as influenced by total phenolic and anthocyanin content, maturity, and variety of *Vaccinium* species. *Journal of agricultural and food chemistry*, 46(7), 2686-2693.
9. Rashidinejad, A. (2020). Blueberries. In *Nutritional composition and antioxidant properties of fruits and vegetables* (pp. 467-482). Academic Press.
10. Miyake, S., Takahashi, N., Sasaki, M., Kobayashi, S., Tsubota, K., & Ozawa, Y. (2012). Vision preservation during retinal inflammation by anthocyanin-rich bilberry extract: cellular and molecular mechanism. *Laboratory investigation*, 92(1), 102-109.
11. Crane, J. H. (2017). This document was developed using information compiled using the National Mango Board-sponsored 2015-2017 research project, Mango Cultivar Evaluation Project-Phase 1.
12. Wu, L., Orikasa, T., Ogawa, Y., & Tagawa, A. (2007). Vacuum drying characteristics of eggplants. *Journal of Food Engineering*, 83(3), 422-429.
13. Genskowsky, E., Puente, L. A., Pérez-Álvarez, J. A., Fernández-López, J., Muñoz, L. A., & Viuda-Martos, M. (2016). Determination of polyphenolic profile, antioxidant activity and antibacterial properties of maqui [*Aristotelia chilensis* (Molina) Stuntz] a Chilean blackberry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 96(12), 4235-4242.
14. Shui, G., & Leong, L. P. (2006). Residue from star fruit as valuable source for functional food ingredients and antioxidant nutraceuticals. *Food chemistry*, 97(2), 277-284.
15. Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. In *Methods in enzymology* (Vol. 299, pp. 152-178). Academic press.
16. Benvenuti, S., Pellati, F., Melegari, M. A., & Bertelli, D. (2004). Polyphenols, anthocyanins, ascorbic acid, and radical scavenging activity of *Rubus*, *Ribes*, and *Aronia*. *Journal of food science*, 69(3), FCT164-FCT169.

Информация об авторах

Каманова Светлана Георгиевна, докторант лаборатории функциональной химии и диетологии пищевых продуктов, Колледж пищевых наук и инженерии, Северо-Западный университет сельского и лесного хозяйства (Янлин 712100, Шэньси, Китай).

E-mail: kamanovasveta@mail.ru

Темирова Индира Жанатовна, магистр техники технологии кафедры технологии пищевых и перерабатывающих производств ВАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени Сакена Сейфуллина», (пр. Женис 62, г. Астана, Республика Казахстан).

E-mail: indira_t85@mail.ru

Альдиева Акмарал Беимбетовна, младший научный сотрудник кафедры технологии пищевых и перерабатывающих производств НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени Сакена Сейфуллина» (пр. Женис 62, г. Астана, Казахстан).

E-mail: akylinaakmaral@mail.ru

Оспанкулова Гульназым Хамитовна, кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры Технологии пищевых и перерабатывающих производств, Технический факультет, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени Сакена Сейфуллина», пр. Женис 62, г. Астана, Казахстан.

E-mail: bulashevag@mail.ru

Information about authors

Kamanova Svetlana Georgievna, PhD student of the Laboratory of Functional Chemistry and Nutrition of Food Products, College of Food Sciences and Engineering, Northwestern University of Agriculture and Forestry (China, Shaanxi, Yangling, 712100).

E-mail: kamanovasveta@mail.ru

Temirova Indira Zhanatovna, Master of Engineering Technology of the Department of Technology of Food and Processing Industries, Technical Faculty, NCJSC «S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University» (Republic of Kazakhstan 010011, Astana city, Zhenis avenue, 62).

E-mail: indira_t85@mail.ru

Aldieva Akmaral Beimbetovna, Junior researcher of the Department of Technology of Food and Processing Industries, Technical Faculty, NCJSC «S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University» (Republic of Kazakhstan 010011, Astana city, Zhenis avenue, 62).

E-mail: akylinaakmaral@mail.ru

Ospankulova Gulnazym Khamitovna, PhD (Biological Sciences), Senior Lecturer of the Department of Technology of Food and Processing Industries, Technical Faculty, NCJSC «S.Seifullin Kazakh Agro Technical Research University» (Republic of Kazakhstan 010011, Astana city, Zhenis avenue, 62).

E-mail: bulashevag@mail.ru

УДК 663.31.031.32-027.33 (043.3)

Поступила в редакцию 12.05.2023
Received 12.05.2023**Е. П. Кулагова, А. А. Пушкарь***РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси
по продовольствию», Республика Беларусь, г. Минск***ГЛУБОКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ВТОРИЧНЫХ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ
В ВИНODEЛЬЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ С ПОЛУЧЕНИЕМ ЯБЛОЧНОГО
ДИСТИЛЛЯТА**

Аннотация. Целью исследований являлась разработка комплексной технологии производства яблочных дистиллятов и алкогольных напитков на их основе путем глубокой переработки отходов виноделия в качестве вторичных сырьевых ресурсов. В статье установлена актуальность изучения отходов виноделия (яблочная выжимка и головная фракция яблочного дистиллята) и режимов их переработки. Разработаны технологические режимы использования яблочных выжимок в качестве вторичного сырьевого ресурса на этапе переработки яблочного сырья путем их экстрагирования и получения диффузионных соков. Разработаны технологические режимы брожения сусла с использованием диффузионных соков и промежуточной фракции. Разработаны технологические режимы фракционной перегонки с отбором четырех фракций. В результате впервые разработана и научно обоснована комплексная технология производства яблочных дистиллятов на основе глубокой переработки отходов виноделия в качестве вторичных сырьевых ресурсов.

Ключевые слова: виноделие, вторичные сырьевые ресурсы, отходы, яблочные выжимки, экстракция, диффузионный сок, головная фракция, промежуточная фракция, фракционная перегонка, яблочный дистиллят.

E. P. Kulagova, A. A. Pushkar*RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus”,
Minsk, Republic of Belarus***DEEP PROCESSING OF SECONDARY RAW RESOURCES IN THE WINE-
MAKING INDUSTRY WITH OBTAINING APPLE DISTILLATE**

Abstract. The purpose of the research was to develop an integrated technology for the production of apple distillates and alcoholic beverages based on them by deep processing of winemaking waste as secondary raw materials. The article establishes the relevance of studying winemaking waste (apple pomace and the head fraction of apple distillate) and the modes of their processing. Technological regimes for the use of apple pomace as a secondary raw material resource at the stage of processing apple raw materials by extracting them and obtaining diffusion juices have been developed. Technological modes of must fermentation using diffusion juices and intermediate fractions have been developed. Technological modes of fractional distillation with the selection of 4 fractions have been developed. For the first time, a complex technology for the production of apple distillates based on the deep processing of winemaking waste as secondary raw materials has been developed and scientifically substantiated.

Keywords: winemaking, secondary raw materials, waste, apple pomace, extraction, diffusion juice, head fraction, intermediate fraction, fractional distillation, apple distillate.

Введение. В настоящее время в Республике Беларусь наблюдается стабильное увеличение производства пищевых продуктов из отечественного сырья. Вместе с тем повышение мощностей в сельскохозяйственной отрасли и в перерабатывающей промышленности приводит к росту количества отходов, что в свою очередь обостряет проблему их утилизации и захоронения.

Отходы, подвергающиеся комплексной переработке, и используемые для получения ценных пищевых компонентов, определяются термином «вторичные материальные ресурсы». Широко распространенный ранее термин «отходы» малоприменим на сегодняшний день, поскольку инновации в технике и технологии позволяют использовать практически любые побочные продукты перерабатывающих производств [1].

Потери при переработке фруктового сырья на имеющемся производственном оборудовании на сегодняшний день составляют до 30 %. Основной объем отходов первичного виноделия составляют яблочные выжимки, они представляют собой плотный остаток твердых частей яблок, содержащий остаточное количество экстрактивных веществ. При хранении в открытом виде они склонны к быстрым микробиологическим изменениям ввиду содержания остаточного сахара, кислоты и других биологически ценных веществ. В связи с этим хранение выжимок без создания определенных условий или консервирования может привести к их порче и инфицированию промышленных помещений.

Действующая технология производства яблочных (фруктовых и кальвадосных) дистиллятов предусматривают получение трех спиртосодержащих фракций: головной, предназначенной для утилизации на технические цели (до 6 % по безводному спирту), основной и хвостовой. Сократить потери безводного спирта допустимо за счет возможного уменьшения образования головной фракции, путем отработки технологических приемов ее получения и направленного использования в качестве вторичного сырьевого ресурса при сбраживании фруктового суслу с последующей фракционной перегонкой [2, 3].

Проблема полного и рационального использования вторичных сырьевых ресурсов пищевой промышленности существует во всех странах с развитой пищевой индустрией. Данной проблеме постоянно уделяется внимание на конференциях и конгрессах различных уровней, на которых предлагаются разносторонние подходы для коренного изменения сложившейся ситуации.

Решение данной проблемы является перспективной инновационной задачей, ориентированной на повышение выхода конечной продукции с одновременным снижением количества образующихся отходов виноделия. Разработка подобных инновационных подходов позволит повысить эффективность производственной деятельности винодельческих предприятий, создав предпосылки для роста их импортозамещающего и экспортного потенциала.

Поэтому исследования, направленные на создание научно и экономически обоснованной технологии производства яблочных дистиллятов с использованием вторичных сырьевых ресурсов являются своевременными и перспективными, и отвечают приоритетным направлениям научно-технической деятельности.

Объекты и методы исследования. Объект исследований — технология производства яблочных дистиллятов с использованием вторичных сырьевых ресурсов виноделия.

В работе использованы органолептические, физико-химические, хроматографические и микробиологические методы исследования [4–9]. Исследования выполнены на поверенном оборудовании, обеспечивающем достоверность результатов измерений, в количестве не менее трех параллельных измерений.

Результаты исследований и их обсуждение. Первый этап исследований был посвящен изучению физико-химических характеристик яблочных выжимок (табл. 1) и головной фракции яблочного дистиллята (табл. 3) для использования в качестве вторичных сырьевых ресурсов при производстве яблочных дистиллятов.

Таблица 1. Физико-химические показатели яблочных выжимок
Table 1. Physical and chemical indicators of apple pomace

Показатель	Единицы измерения	Среднестатистическое значение (литературные данные)	Установленное значение
Массовая доля влаги	%	55,0 — 75,0	74,3 ± 0,2
Массовая доля сухих веществ	%	25,0 — 45,0	25,7 ± 0,2
Массовая доля титруемых кислот, в пересчете на яблочную	%	0,5 — 3,0	0,75 ± 0,1
Массовая доля сахаров	%	4,0 — 12,0	4,95 ± 0,1

На основании данных таблицы 1 можно сделать вывод, что яблочные выжимки являются ценным источником экстрактивных веществ. При массовой доле сухих веществ в выжимке 25 — 45 % они содержат достаточно высокое количество сахаров 4,0 — 12,0 % и титруемых кислот (в пересчете на яблочную) 0,5–3,0 %, что подчеркивает перспективность использова-

ния яблочных выжимок в качестве вторичного сырьевого ресурса при производстве яблочных дистиллятов. Задействование данного экстрактивного потенциала в производственном цикле несомненно важно, так как позволит увеличить выход конечной продукции (яблочного дистиллята) из одной тонны перерабатываемого сырья.

Для оценки потенциала перехода ценных экстрактивных компонентов яблочной выжимки в диффузионный сок были изучены физико-химические показатели диффузионных соков, представленные в табл. 2.

Таблица 2. Физико-химические показатели диффузионных соков
Table 2. Physical and chemical parameters of diffusion juices

Наименование показателя	Единицы измерения	Значение показателя						Диапазон полученных значений
		2018 год		2019 год		2020 год		
		июль-август	сентябрь-ноябрь	июль-август	сентябрь-ноябрь	июль-август	сентябрь-ноябрь	
Массовая концентрация сахаров в пересчете на инвертный	г/дм³	32,0±0,2	30,5±0,2	25,2±0,2	34,8±0,2	28,9±0,2	31,7±0,2	25,0—35,0
Массовая концентрация титруемых кислот в пересчете на яблочную кислоту	г/дм³	5,6±0,2	4,8±0,2	6,1±0,2	5,9±0,2	4,8±0,2	5,5±0,2	4,0—6,5

Из данных табл. 2 следует, что диффузионный сок содержит значительное количество сахаров и кислот, извлеченных из яблочных выжимок посредством экстракции. Данные экстрактивные вещества должны быть использованы для повышения эффективности технологии производства яблочного дистиллята, заложив базу для снижения издержек этого производства.

Дополнительно была проведена сравнительная оценка концентрации сахаров соков первичного отжима и диффузионных соков в рассматриваемом временном интервале с 2018 г. по 2020 г. с усреднением данных за осенне — летний период. Результаты сравнительной оценки представлены на рис. 1.

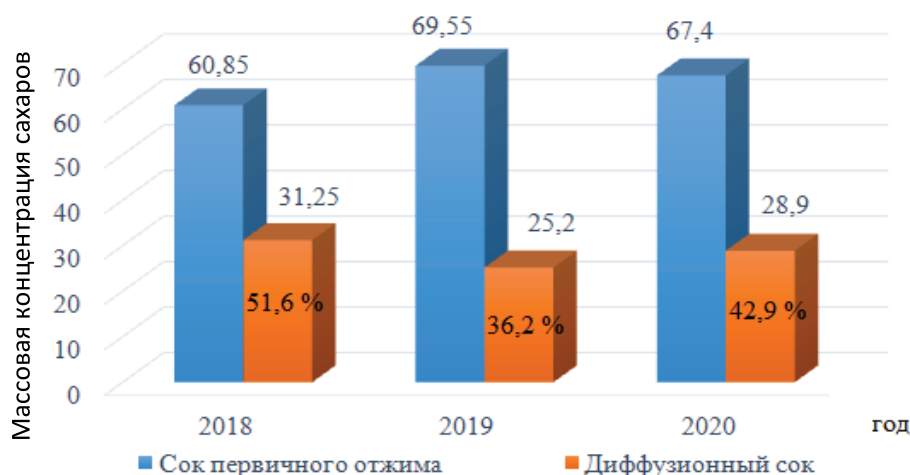


Рис. 1. Сравнительный анализ содержания сахаров в соках
Fig. 1. Comparative analysis of sugar content in juices

Из данных гистограммы можно сделать вывод, что диффузионные соки, полученные в неоптимизированных условиях проведения процесса экстракции, располагают потенциалом сбраживаемых сахаров в диапазоне (36,2 — 51,6) % от их содержания в соках первичного отжима. Данный факт характеризует диффузионные соки как ценный сырьевой источник при приготовлении яблочного сула.

Проведенная оценка микробиологической стабильности яблочных выжимок отмечает невозможность их длительного хранения (по истечению первых суток хранения общее коли-

чество микроорганизмов составило $3,6 \cdot 10^5$ КОЕ/г), что говорит о необходимости их незамедлительной переработки и получения на их основе диффузионных соков.

Одновременно, учитывая значительный объем образования головной фракции, ее высокую крепость (50–90 % об.) и ароматобразующий потенциал, поиск путей повторного использования данного побочного продукта в качестве вторичного сырьевого ресурса представляет большой практический интерес.

Таблица 3. Органолептические и физико-химические показатели головной фракции яблочного (кальвадосного) дистиллята и яблочного (фруктового) дистиллята

Table 3. Organoleptic and physico-chemical parameters of the head fraction of apple (calvados) distillate and apple (fruit) distillate

Наименование показателя	Нормируемое значение по ТУ ВУ 600107131.011-2019 для фракции головной		Фактическое значение для фракции головной	Нормируемое значение для фруктового дистиллята по СТБ 2354-2014
Технология производства дистиллята	фруктовая (яблочная)	кальвадосная (яблочная)	фруктовая (яблочная) УП «Иловское»	фруктовая (яблочная)
Прозрачность, цвет	Прозрачная жидкость от бесцветного до желтого цвета без посторонних включений. Допускается опалесценция		Прозрачная бесцветная жидкость без осадка и посторонних включений	Прозрачная бесцветная жидкость без осадка и посторонних включений. Допускается опалесценция
Запах	Спиртовый с резкими эфирно-альдегидными тонами		Спиртовый, умеренно резкий, с выраженными яблочными, эфирно-альдегидными и легкими сивушными тонами	Сложный, с вино-фруктовыми тонами
Объемная доля этилового спирта, %	50,0 — 90,0		65,5 — 70,3	52,0 — 86,0
Массовая концентрация уксусного альдегида, г/дм ³ б.с.	0,5 — 50,0		0,8 — 5,4	не более 0,8
Массовая концентрация сложных эфиров, г/дм ³ б.с.	2,0 — 100,0		3,2 — 6,8	0,3 — 2,0
Массовая концентрация сивушного масла, г/дм ³ б.с.	2,0 — 30,0		3,6 — 4,4	1,0 — 4,5
Объемная доля метилового спирта, в пересчете на б.с., %	не более 6,0	0,01 — 10,00	0,08	около 0,8 — 1,1

Наличие эфирного и альдегидного потенциала с выраженными яблочными тонами в органолептике головной фракции яблочного дистиллята подчеркивает перспективность разделения данного побочного продукта перегонки на две подфракции: первая — наиболее едкая, сконцентрированная, вторая — фракция, отличающаяся выраженной спиртовой и фруктовой составляющей с умеренными тонами эфиров и альдегидов. Следует отметить, что по большинству физико-химических показателей (таблица 3) головная фракция, полученная на УП «Иловское», соответствует требованиям, предъявляемым к яблочным дистиллятам, согласно СТБ 2354-2014, тем самым это свидетельствует о возможности концентрирования и уменьшения объемов ее отбора.

Анализ совокупности полученных результатов физико-химических свойств яблочных выжимок (табл. 1), органолептических и физико-химических показателей головной фракции яблочного дистиллята (табл. 3) свидетельствуют о целесообразности и перспективности их использования, и доказывают их неоспоримую ценность для возврата в технологический цикл в качестве вторичных сырьевых ресурсов.

Для определения приемов ведения технологического процесса водно-тепловой обработки (экстракции) яблочных выжимок и максимального извлечения экстрактивных веществ (са-

харов и кислот) был проведен полный факторный эксперимент 2^3 , позволяющий варьировать и получать значимые факторы. Основными технологическими параметрами, определяющими эффективность и рентабельность процесса водно-тепловой обработки выжимок являются: X_{i1} — температура процесса экстракции (мацерации), °C; X_{i2} — продолжительность процесса экстракции, мин.; X_{i3} — соотношение количества частей экстрагента (подготовленной воды) к части яблочных выжимок (гидро модуль сырьевых компонентов/частей, безразмерная величина). Критериями оценки эффективности протекания процесса экстракции яблочных выжимок под влиянием изменения выбранных факторов являлись абсолютное количество растворимых сухих веществ (Y_{i1} , кг), извлеченное с диффузионным соком, и содержание пектиновых веществ (Y_{i2} , кг/дм³) в диффузионном соке по окончании процесса экстрагирования. Абсолютное количество извлеченных сухих веществ находили исходя из массы полученного диффузионного сока и содержания растворимых сухих веществ в нем.

В результате статистической обработки экспериментальных данных получено уравнение регрессии (1), адекватно ($R = 95,6\%$) описывающее влияние температуры, гидро модуля и продолжительности процесса экстракции на абсолютное количество сухих веществ.

$$Y_{i1} = -2,16 \cdot 10^{-3} \cdot X_{i1}^2 - 2,90 \cdot X_{i3}^2 + 2,29 \cdot 10^{-1} \cdot X_{i2} + 2,56 \cdot 10^{-2} \cdot X_{i2}^2 + 9,95 \cdot X_{i3} - 4,25. \quad (1)$$

Полученное уравнение (1) позволяет прогнозировать значение функции отклика для заданных условий процесса.

Графическое влияние факторов на абсолютное количество растворимых сухих веществ, извлеченное с диффузионным соком, представлено в виде поверхности отклика (рис. 2) и контурного графика (рис. 3).

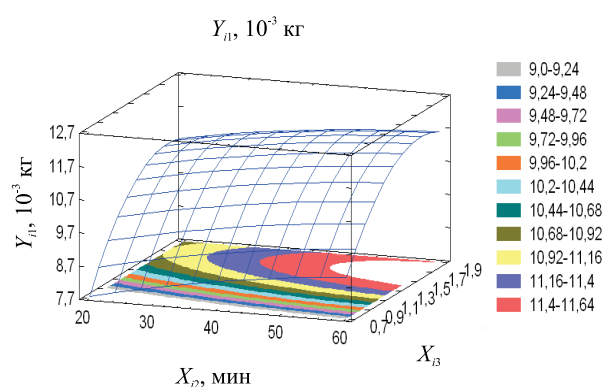


Рис. 2. График поверхностей отклика для показателя абсолютного количества сухих веществ, извлеченных с диффузионным соком, при температуре $X_{i1} = 50$ °C
 Fig. 2. Plot of response surfaces for the indicator of the absolute amount of solids extracted with diffusion juice at a temperature $X_{i1} = 50$ °C

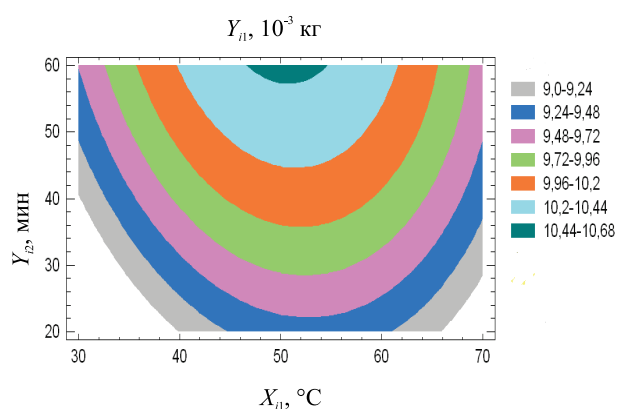


Рис. 3. Контурный график поверхностей отклика для показателя абсолютного количества сухих веществ, извлеченных с диффузионными соками при гидро модуле $X_{i3} = 1,0$
 Fig. 3. Contour plot of response surfaces for the indicator of the absolute amount of solids extracted with diffusion juices at a hydromodulus $X_{i3} = 1.0$

Установлено, что наибольшее влияние на уровень накопления растворимых сухих веществ оказывает гидромодуль сырьевых компонентов. На основании анализа графических зависимостей, установлено, что при гидромодуле сырьевых компонентов — 1,0:1,0, температуры экстракции — 50 °С и продолжительности процесса — 50 мин был достигнут хороший показатель абсолютного значения извлеченных сухих веществ — $(10,2 — 10,44) \cdot 10^{-3}$ кг.

С целью ограничения накопления пектиновых веществ, рассмотрена зависимость массовой концентрации пектина от варьируемых показателей.

В результате статистической обработки экспериментальных данных получено уравнение регрессии, адекватно ($R = 97,3\%$) описывающее влияние температуры, гидромодуля и продолжительности процесса экстракции на содержание пектиновых веществ.

$$Y_{12} = 4,51 \cdot 10^{-4} \cdot X_{11}^2 + 6,44 \cdot 10^{-1} \cdot X_{13}^2 + 2,98 \cdot 10^{-4} \cdot X_{11} \cdot X_{12} - 2,64 \cdot 10^{-2} \cdot X_{11} \cdot X_{13} - 2,84 \cdot 10^{-2} \cdot X_{12} \cdot X_{13} + 1,85 \cdot 10^{-3} \cdot X_{11} + 3,19 \cdot 10^{-2} \cdot X_{12} + 7,50 \cdot 10^{-3} \cdot X_{13} + 2,45 \cdot 10^{-1}. \quad (2)$$

Наибольший эффект на уровень накопления пектиновых веществ оказывает температура процесса, при ее увеличении концентрации пектиновых веществ повышается.

Графическая интерпретация полученного математического описания процесса экстракции представлена в виде поверхности отклика (рисунок 4), анализ которой показал, что с ростом температуры ($\geq 65^\circ\text{C}$) и увеличением продолжительности протекания процесса экстракции (≥ 50 мин) показатель массовой концентрации пектина растет, что при дальнейшем получении дистиллятов с использованием диффузионных соков приведет к разрушению пектиновых веществ в процессе брожения и образованию метанола, который является высокотоксичным веществом.

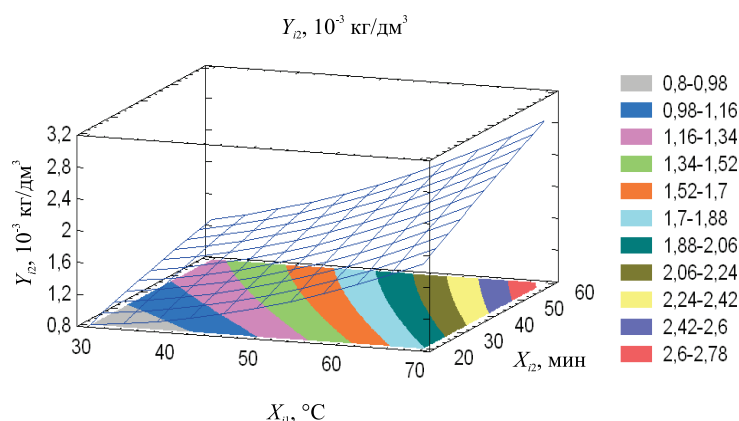


Рис. 4. График поверхностей отклика для показателя массовой концентрации пектина в диффузионном соке, при гидромодуле $X_{13} = 1,0$

Fig. 4. Graph of response surfaces for the indicator of mass concentration of pectin in diffusion juice, with hydromodulus $X_{13} = 1.0$

Таким образом, на основании анализа полученных зависимостей, с учетом стремления извлечения максимально возможного количества абсолютно сухих веществ при ограничении накопления пектиновых веществ, установлены рациональные параметры экстрагирования яблочных выжимок, полученных после отжима сока, подготовленной водой при температуре $55 \pm 5^\circ\text{C}$ в течение 37 ± 10 мин и гидромодуле 1,0 : (1,0 — 1,1). Подтверждена возможность концентрирования головной фракции и уменьшения объемов ее отбора, а также целесообразность ее использования, при проведении процессов брожения, исходя из ее органолептических и физико-химических показателей.

В ходе экспериментальных исследований процесса перегонки установлено, что ее можно проводить с отбором 4 спиртосодержащих фракций, соблюдая строгие температурные критерии: головной, предназначенной для использования на технические цели (сокращение ее количества с 6 % до 0,4 — 0,8 % от количества безводного спирта виноматериалов); промежуточной, предназначенной для использования в качестве вторичного сырьевого ресурса в цикле производства яблочных дистиллятов; собственно яблочного дистиллята; хвостовой, предназначенной для использования в качестве вторичного сырьевого ресурса в цикле производства фруктовых дистиллятов с последующей утилизацией на технические цели после 5-тикратного использования.

Промежуточная фракция яблочного дистиллята — побочный продукт винодельческого производства, образующийся при перегонке (дистилляции) или ректификации фруктовых столовых сухих виноматериалов, фруктовых (плодовых, в том числе ягодных) сброженных выжимок, дрожжевых и гущевых осадков после отбора головной фракции (перед отбором фракции фруктового дистиллята) и содержащий легколетучие органические примеси, предназначенный для использования в качестве вторичного сырьевого ресурса при изготовлении яблочных дистиллятов по комплексной технологии.

Для оценки возможности применения промежуточной фракции на стадии брожения был изучен процесс, в котором определяли состояние биомассы дрожжей и отслеживали динамику процесса сбраживания яблочного сусла с добавлением головной фракции яблочного дистиллята. Процесс брожения яблочного сусла экспериментальных образцов проводили с применением дрожжей *Oenoferm Freddo F3*, расчетное количество сахара для обеспечения объемной доли этилового спирта виноматериала составляло 11%.

Контроль физиологического состояния дрожжей в ходе процесса брожения (седьмые сутки ферментации) осуществляли по количеству дрожжевых клеток в 1 см³ сусла (методом подсчета в камере Горяева), а также по количеству почкующихся клеток. Результаты приведены на рисунках 5 и 6. Образцы яблочных материалов, направляемых на брожение: 1-К — яблочный сок прямого отжима; 2 — смесь яблочного сока прямого отжима и диффузионного сока, 3 — смесь яблочного сока прямого отжима и диффузионного сока с добавлением головной фракции 0,25%; 4 — смесь яблочного сока прямого отжима и диффузионного сока с добавлением головной фракции 0,5%; 5 — смесь яблочного сока прямого отжима и диффузионного сока с внесением сахара в два этапа; 6 — смесь яблочного сока прямого отжима и диффузионного сока с добавлением ГФ (0,5%) с внесением сахара в два этапа.

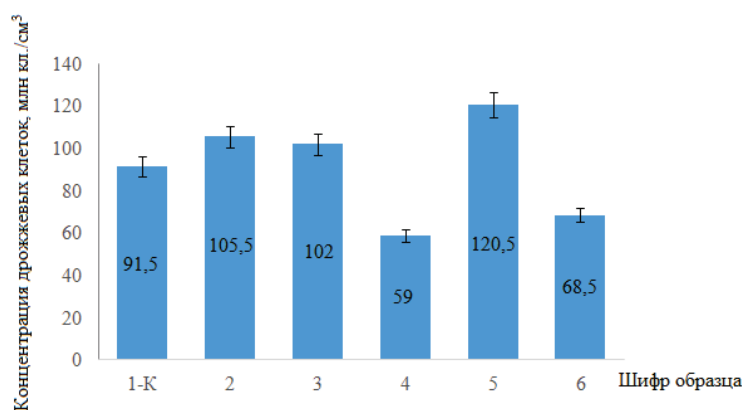


Рис. 5. Концентрация дрожжевых клеток экспериментальных образцов в процессе брожения
Fig. 5. Concentration of yeast cells of experimental samples during fermentation

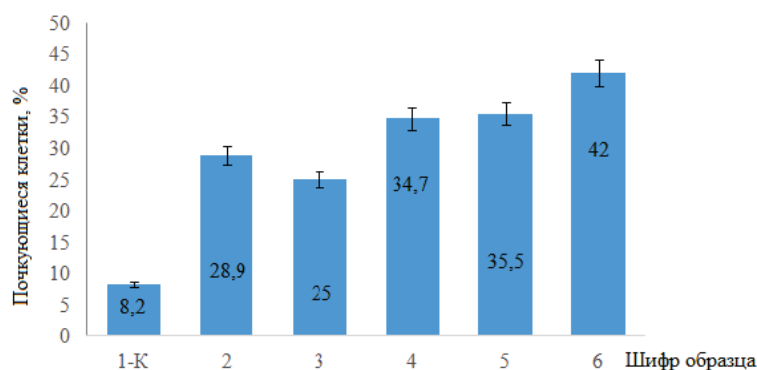


Рис. 6. Концентрация почкующихся клеток экспериментальных образцов в процессе брожения
Fig. 6. Concentration of budding cells of experimental samples during fermentation

Анализ полученных данных говорит о том, что добавление головной фракции дистиллята в количестве 0,25 % по безводному этиловому спирту, в яблочное сусло в процессе брожения не оказывает отрицательного влияния на развитие дрожжей, при этом уровень накопления биомассы находится в тех же пределах, что и у образцов без добавления головной фракции. Однако увеличение внесения головной фракции яблочного дистиллята до уровня 0,5 % (образцы 4 и 6) подавляет развитие дрожжевой биомассы, что требует более детальной проработки приемов внесения головной фракции, а так же проведения работ по оптимизации процесса сбраживания с установлением предельных значений задачи головной фракции на брожение.

Оценка уровня накопления дрожжевых клеток в образце №5 с внесением сахара в два этапа показывает положительный эффект данного приема. Рост концентрации биомассы с (91,5 — 105,5) млн.клеток/см³ до 120,5 млн.клеток/см³ можно объяснить сниженным осмотическим давлением в первые часы возбраживания и развития дрожжей, вследствие неполной задачи всего расчетного количества сахара.

Динамику процесса сбраживания яблочного сусла также изучали по количеству выделяющегося при брожении углекислого газа. Результаты исследования выделения диоксида углерода при брожении приведены на рис. 6.

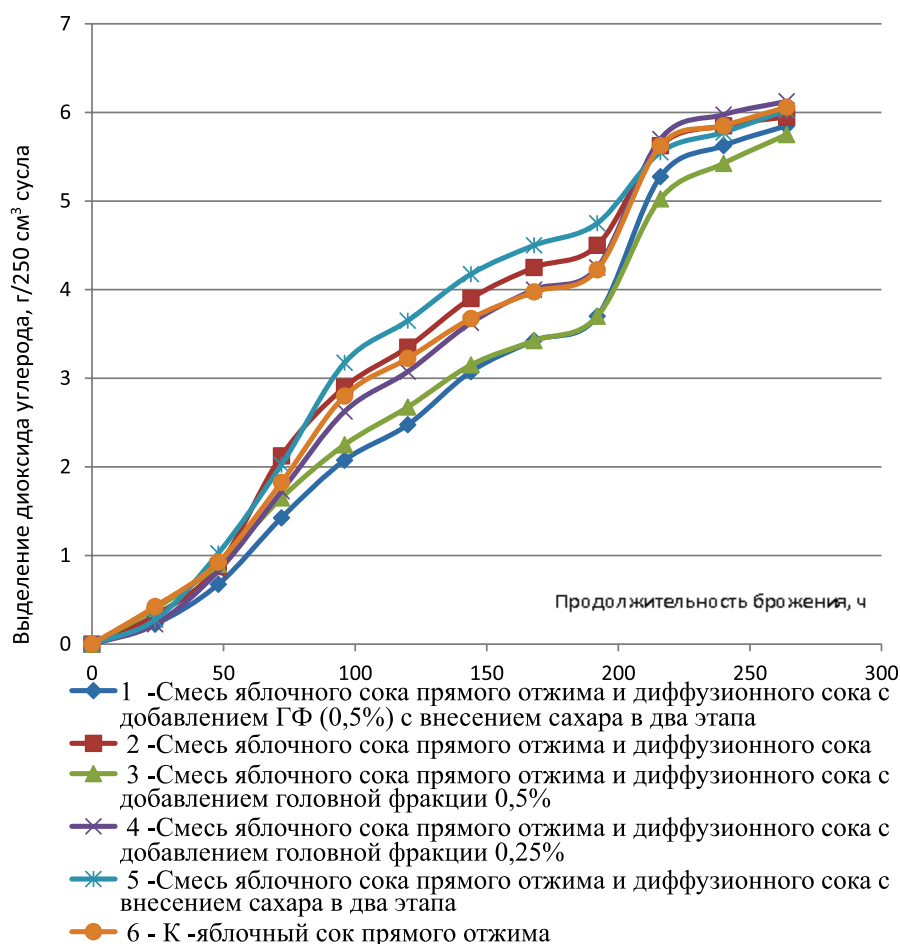


Рис. 7. Динамика выделения диоксида углерода при сбраживании яблочного сусла

Fig. 7. Dynamics of carbon dioxide release during the fermentation of apple must

Из данных, представленных на рис. 7, следует, что введение головной фракции в размере 0,25 % обеспечивает интенсификацию процесса брожения, в то время как повышение количества головной фракции до 0,5 % приводит к затуханию этого процесса. Так наибольшее выделение диоксида углерода наблюдается в образце №4 — 6,12 г/250 см³ яблочного сусла. Образцы №1 и №3 (с введением 0,5 % головной фракции) показывают наименьший уровень выделения углекислого газа равный 5,85 г/250 см³ и 5,75 г/250 см³ яблочного сусла соответ-

ственно. Процесс брожения во всех образцах к 11 суткам ферментации переходил в стационарную фазу и практически оканчивался.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что добавлением головной фракции дистиллята в количестве 0,25 % способствует интенсификации и благоприятному протеканию процесса брожения.

Следующий этап исследований включал стадию оптимизации процесса брожения яблочного сусла, состоящего из смеси сока прямого отжима и диффузионного сока с введением промежуточной фракции яблочного дистиллята.

Для экспериментальных исследований были приняты следующие технологические допуски для проведения процесса: сухие активные дрожжи Oenoferm вида *Saccharomyces cerevisiae* производства ERBSLOEN Geisenheim AG: Freddo F3, температура брожения — комнатная: 21 ± 2 °С, объем диффузионных соков в сусле, направленном на брожение, 20 %. Для оптимизации процесса брожения яблочного сусла применяли метод центрального композиционного рототабельного планирования полного факторного эксперимента ПФЭ-2³ со звездными точками.

В качестве основных факторов, влияющих на оптимизацию процесса брожения, были выбраны: X_{b1} — количество питания для дрожжей, кг/дм³; X_{b2} — количество промежуточной фракции в пересчете на безводный спирт, вводимое на стадии брожения, %; X_{b3} — количество засеваемых дрожжей при постановке на брожение фруктового сусла, 10⁶ клеток/см³.

Критериями оценки эффективности протекания процесса брожения яблочного сусла под влиянием изменения выбранных факторов являлись объемная доля этилового спирта вино-материала по окончании процесса брожения за вычетом спирта внесенного с промежуточной фракцией (Y_{b1} , %), массовая концентрация несброженного сахара (Y_{b2} , кг/дм³), которая свидетельствует о полноте протекания процесса брожения.

В результате статистической обработки экспериментальных данных получено уравнение регрессии ($R = 96,61$ %).

$$Y_{b1} = -6,52 \cdot X_{b1}^2 - 4,47 \cdot X_{b2}^2 - 4,94 \cdot 10^{-2} \cdot X_{b3}^2 + 3,86 \cdot X_{b1} + 3,05 \cdot X_{b2} + 4,2 \cdot 10^{-1} \cdot X_{b3} + 9,40 \quad (3)$$

Наибольший эффект на уровень накопления этанола в вино-материале оказывает дозировка вносимого питания для дрожжей.

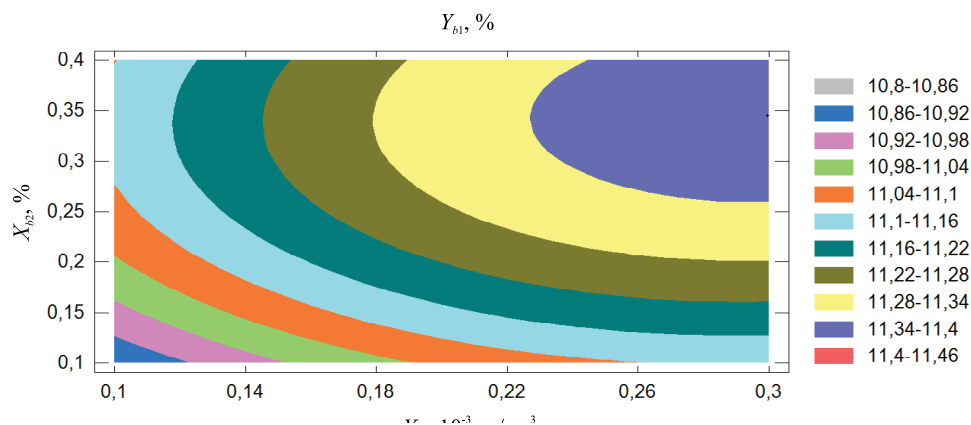


Рис. 8. Контурный график поверхностей отклика для показателя крепости вино-материала при количестве засеваемых дрожжей $X_{b3} = 4,0 \cdot 10^6$ клеток/дм³

Fig. 8. Contour plot of response surfaces for the strength index of wine material with the amount of inoculated yeast $X_{b3} = 4,0 \cdot 10^6$ cells/dm³

Анализ зависимости, представленной в виде контурного графика (рисунок 8), показал, что для сбраживания яблочного сусла с обеспечением наибольшего уровня накопления этилового спирта в вино-материале (11,28 — 11,34 %) при концентрации дрожжевых клеток $4,0 \cdot 10^6$ клеток/см³ дает диапазон содержания азотистого питания для дрожжей $(0,24 — 0,30) \cdot 10^{-3}$ кг/дм³ и диапазон количества вводимой промежуточной фракции 0,30 — 0,40 %.

Для определения полноты протекания процесса брожения рассмотрена зависимость массовой концентрации несброженного сахара от тех же параметров. Согласно полученным

данным, яблочное сусло, состоящее из смеси сока прямого отжима, диффузионного сока и промежуточной фракции, полностью сбродило (массовая концентрация сахаров должна быть менее $3,0 \text{ г/дм}^3$) с достижением объемной доли этилового спирта $11,0 \pm 0,4 \%$. Наибольший эффект на показатель массовой концентрации несброженного сахара оказывает количество вносимого питания для дрожжей и количество вносимой промежуточной фракции яблочного дистиллята. При этом можно отметить, что применение более широкого диапазона количества вносимой промежуточной фракции, количества дрожжевых клеток и питания для дрожжей приводит к более высокому показателю крепости полученного виноматериала, но сказывается на его органолептических свойствах и себестоимости продукта.

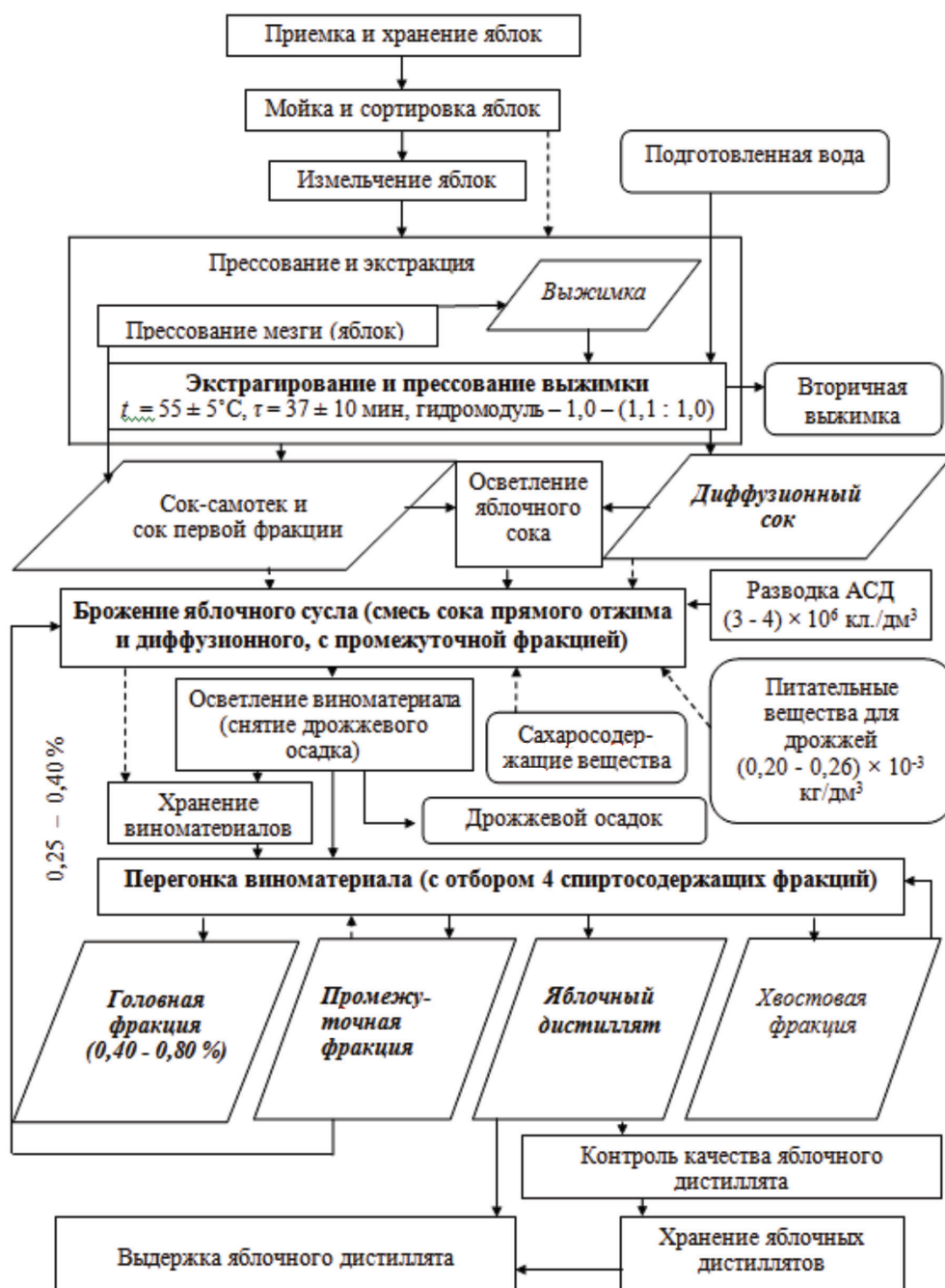


Рис. 9. Технологическая схема изготовления яблочных дистиллятов

Fig. 9. Technological scheme for the manufacture of apple distillates

Заключение. На основании совокупного анализа полученных данных и учитывая органолептическую оценку полученных образцов виноматериала, были установлены оптимальные параметры проведения процесса брожения яблочного сусла. Количество питания для дрожжей в диапазоне от $(0,20 - 0,26) \cdot 10^{-3}$ г/дм³, количество промежуточной фракции в пересчете на безводный спирт, вводимое на стадии брожения в диапазоне от 0,25 — 0,40 %, количество засеваемых дрожжей при постановке на брожение яблочного сусла в диапазоне $(3 - 4) \cdot 10^6$ кл/см³.

Совокупность проведенных экспериментальных исследований дала возможность разработать технологию производства яблочного дистиллята (рис. 9), включающую в себя комплексную переработку вторичных сырьевых ресурсов, отличающуюся тем, что потенциал исходного сырья, используется максимально полно, при задействовании ранее традиционных отходов в качестве вторичных сырьевых ресурсов посредством получения диффузионных соков в результате проведения процесса экстракции — температура экстракции — $55 \pm 5^\circ\text{C}$, период экстракции — 37 ± 10 мин, гидромодуль — 1,00 — (1,10 : 1,00); и выделением нового инновационного промежуточного продукта — промежуточной фракции фруктового дистиллята — задействованной в производственном цикле, а именно на этапе брожения при следующих параметрах — количество питания для дрожжей в диапазоне 0,20–0,26 г/дм³, количество промежуточной фракции в пересчете на безводный спирт, вводимое на стадии брожения в диапазоне 0,25–0,40 % об., количество засеваемых дрожжей при постановке на брожение фруктового сусла в диапазоне $(3 - 4) \cdot 10^6$ кл/см³.

Изготовленный яблочный дистиллят может быть использован для производства дистиллята яблочного выдержанного (кальвадосного) — дистиллята яблочного с объемной долей этилового спирта от 55 до 70 процентов, полученного путем выдержки дистиллята яблочного молодого в постоянном контакте с древесиной дуба в течение всего периода выдержки.

Кроме указанной крепкой винодельческой продукции изготовленный яблочный дистиллят может быть использован при производстве следующих алкогольных напитков:

- ♦ винодельческой продукции — на этапе доведения до заданной объемной доли этилового спирта сброженного винодельческого сырья путем купажирования;
- ♦ спиртных напитков крепких — на этапе купажирования со спиртом этиловым ректификованным из пищевого сырья и питьевой воды с добавлением или без добавления сахаросодержащих продуктов, натуральных вкусоароматических веществ (препаратов) и сахарного колера.

Список использованных источников

1. Анализ состояния и развития конъюнктуры рынка винодельческой отрасли Республики Беларусь / Н.В. Хорошун [и др.]. — Минск : Белорус. госуд. технологический университет, 2021. — 11 с.
2. Аванесьянц, Р. В. Теоретическое обоснование и разработка инновационных технологий производства российских коньяков: дис. ... д-ра техн. наук : 05.18.01 / Р. В. Аванесьянц. — Краснодар, 2013. — 374 л.
3. Блягоз, А. Р. Совершенствование технологии производства российского кальвадоса в Республике Адыгея : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.18.01 / А. Р. Блягоз ; Кубан. гос. технол. ун-т. — Краснодар, 2010. — 24 с.
4. Продукция соковая. Рефрактометрический метод определения массовой доли растворимых сухих веществ = Прадукцыя сокавая. Рэфрактаметрычны метад вызначэння масавай долі растваральных сухіх рэчываў : ГОСТ 34128-2017. — Взамен ГОСТ ISO 2173-2013 в части соковой продукции ; введ. РБ 01.06.19. — Минск : Госстандарт, 2018. — 7 с.
5. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сухих веществ или влаги : ГОСТ 28561-90. — Взамен ГОСТ 8756.2-82 в части разд. 1, 2, 3 (кроме консервов из рыбы и морепродуктов), ГОСТ 13340.3-77 ; введ. РБ 17.12.92. — Минск : БелГИСС, 2011. — 9 с.
6. Продукция алкогольная и соковая. Определение содержания углеводов и глицерина методом высокоэффективной жидкостной хроматографии = Прадукцыя алкагольная і сокавая. Вызначэнне змяшчэння вугляводаў і гліцэрына метадам высокаэфектыўнай вадкаснай храматаграфіі : ГОСТ 33409-2015. — Введ. РБ 01.08.16. — Минск : Госстандарт, 2015. — 11 с.
7. Винодельческая продукция и винодельческое сырье. Метод определения объемной доли этилового спирта : СТБ 1929-2009 (ГОСТ Р 51653-2000). — Взамен на территории РБ ГОСТ 13191-73 ; введ. 01.07.09. — Минск : Госстандарт, 2009. — 9 с.
8. Винодельческая продукция и винодельческое сырье. Методы определения массовой концентрации титруемых кислот : СТБ 1931-2009. — Взамен на территории РБ ГОСТ 14252-73 ; введ. 01.07.09. — Минск : Госстандарт, 2009. — 11 с.

9. Водка и спирт этиловый из пищевого сырья. Газохроматографический экспресс-метод определения содержания токсичных микропримесей : СТБ ГОСТ Р 51698-2001. — Введ. 01.11.02. — Минск : Госстандарт, 2001. — 36 с.

Информация об авторах

Кулагова Екатерина Петровна, кандидат технических наук, научный сотрудник лаборатории микробиологических исследований 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: tateka@tut.by

Пушкарь Александр Александрович — кандидат технических наук, заместитель директора по биотехнологическому направлению ООО «Ритехна» (220028, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Козыревская, д. 15, ком. 801б).

E-mail: trb991@mail.ru

Information about authors

Kulagova Ekaterina Petrovna, PhD (Technical), researcher of the laboratory of microbiological research of the Republican control and testing complex for the quality and safety of food, “Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food” (220037, Republic of Belarus, Minsk, Kozlova st., 29).

E-mail: tateka@tut.by

Pushkar Alexander Alexandrovich, PhD (Technical), Deputy Director for Biotechnology at Ritekhna LLC (220028, Republic of Belarus, Minsk, st. Kozyrevskaya, 15, room. 801b).

E-mail: trb991 @ mail.ru

УДК 577.114.083

Поступила в редакцию 04.07.2023
Received 04.07.2023**М. М. Трусова***Учреждение образования «Гродненский государственный университет имени Янки Купалы»,
г. Гродно, Республика Беларусь***ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ХИТОЗАНА
В ТЕХНОЛОГИИ ВИНODEЛЬЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ**

Аннотация. Актуальным является проведение исследования по определению возможности применения хитозана в технологии винодельческой продукции. Научная задача — оптимизация условий сорбции полифенолов и белков хитозаном и оценка ее эффективности. Проведено исследование по определению склонности соков и виноматериалов к помутнениям биохимического и физико-химического характера. Образцы соков и виноматериалов были получены на предприятии ОАО «Дятловский ликеро-водочный завод «Алгонь». Для определения концентрации полифенолов до и после сорбции применялся метод Еруманиса. Для определения количества белка в соках и виноматериалах использован метод Лоури в модификации Д. Шактерле и Р. Поллак. Установлено, что максимум адсорбции хитозаном полифенолов приходится на 15 — 30 минут, адсорбционная способность хитозана к полифенолам составила $666,00 \pm 0,3$ — $937,00 \pm 0,1$ мг к 1 г сорбента, за это время концентрация полифенолов снижается на 1,14 — 2,91 %. Оптимальная экспозиция для сорбции белков хитозаном — диапазон 20 — 30 минут, концентрация белка снижается на 12,89 — 46,26 %, сорбционные способности хитозана к белкам составила $0,777 \pm 0,002$ — $2,703 \pm 0,002$ г к 1 г сорбента. Рекомендуется использовать хитозан в технологии винодельческой продукции в качестве стабилизатора для удаления чрезмерного количества белков и предотвращения необратимых коллоидных помутнений в дозировке 1 — 10 г на 1 гл материала подлежащего обработке.

Ключевые слова: винодельческая продукция, хитозан, белки, полифенолы, коллоидное помутнение, стабилизация.

M. M. Trusova*Yanka Kupala State University of Grodno, Grodno, Republic of Belarus***DETERMINATION OF THE POSSIBILITY OF APPLICATION
OF CHITOSAN IN THE TECHNOLOGY OF WINE PRODUCTS**

Abstract. It is relevant to conduct a study to determine the possibility of using chitosan in the technology of wine products. The scientific task is to optimize the conditions for the sorption of polyphenols and proteins by chitosan and evaluate its effectiveness. A study was carried out to determine the tendency of juices and wine materials to haze of a biochemical and physico-chemical nature. Samples of juices and wine materials were obtained at the JSC Dyatlovsky Distillery Algon. The Yerumanis method was used to determine the concentration of polyphenols before and after sorption. To determine the amount of protein in juices and wine materials, the Lowry method modified by D. Schacterle and R. Pollak was used. It has been established that the maximum adsorption of polyphenols by chitosan falls on 15–30 minutes, the adsorption capacity of chitosan for polyphenols was 666.00 ± 0.3 — 937.00 ± 0.1 mg per 1 g of sorbent, during which time the concentration of polyphenols decreases by 1, 14 — 2.91%. The optimal exposure for the sorption of proteins by chitosan is in the range of 20 — 30 minutes, the protein concentration decreases by 12.89 — 46.26%, the sorption capacity of chitosan for proteins was 0.777 ± 0.002 — 2.703 ± 0.002 g to 1 g of sorbent. It is recommended to use chitosan in the technology of wine production as a stabilizer to remove excessive amounts of proteins and prevent irreversible colloidal haze at a dosage of 1 — 10 g per 1 hl of the material to be processed.

Keywords: wine products, chitosan, proteins, polyphenols, colloidal turbidity, stabilization.

Введение. Основной проблемой винодельческой отрасли является обеспечение качества и стабильности винодельческой продукции, а также поиск новых эффективных вспомогательных средств для обеспечения стабильности продукции на протяжении гарантийного срока и более. Под стабильностью винодельческой продукции понимают состояние или условие, при котором в продукте в течение сроков годности не будут проявляться нежелательные физические, химические и органолептические изменения [1]. Вино с точки зрения химического состава является сложным раствором, включающим в себя более 400 соединений различной природы [2, 3]. Основные вещества, влияющие на прозрачность и стабильность вин и способные вызвать коллоидные помутнения — это белки, полифенолы, полисахариды, липиды и ионы тяжелых металлов [4–6].

Механизм образования коллоидных помутнений объясняется электрической заряженностью коллоидных частиц и электрохимическими процессами, происходящими в коллоидных и коллоидно-ионных растворах [7–9]. Рядом отечественных и зарубежных ученых ведутся исследования по применению различных вспомогательных веществ, для предотвращения и удаления коллоидных помутнений в винодельческой продукции. Доказано, что для удаления полифенольных веществ эффективным является использование ферментных препаратов [10–13], также широкое распространение получили адсорбционные способы стабилизации напитков.

Механизм адсорбции заключается в поглощении коллоидных веществ на поверхности осветляющих материалов или нейтрализации заряженных частиц путем внесения веществ с противоположным зарядом. В качестве адсорбентов могут выступать вещества органической и неорганической природы (например, кизельгур, бентонит и др.). Бентонит как в нативном, так и в активированном и модифицированном виде широко используется в отечественной и зарубежной индустрии напитков [14, 15].

Во ВНИИПБиВП проведено исследование эффективности превентивной обработки виноградного сусла препаратами нового поколения на основе ПВПП для предотвращения окисления фенольных соединений вин [16]. Активно используются препараты на основе кремниевой кислоты — кизельгур, кизельгель, кремнезоль, силикагель, силиказоль и т. д., преимуществом данного класса препаратов является большая площадь поверхности контакта, что обеспечивает им высокие адсорбционные способности [10, 17, 18]. Для повышения коллоидной стойкости ягодных соков и вин применяют также цеолиты [19]. Определенную нишу среди стабилизирующих средств занимают натуральные и синтетические флокулянты. Из натуральных флокулянтов широко применяется желатин. Его используют для осветления виноматериалов, соков и других продуктов [20, 21].

В последние годы становится популярным использование в пищевой промышленности гидроколлоидов. Несмотря на их очень малую концентрацию, они оказывают сильное влияние на физико-химические и органолептические свойства пищевых продуктов [22]. Одним из перспективных в настоящее время гидроколлоидов в пищевой промышленности является хитозан. Возможность удаления полифенолов и белков при помощи хитозана можно объяснить химической структурой адсорбента [23, 24]. Хитозан будет эффективно выводить из дисперсной системы напитка отрицательно заряженные полифенольные вещества как активный катионик. Коагуляция белковых веществ хитозаном будет протекать двумя путями. Кислые белки будут осажаться путем прямой коагуляции, щелочные и нейтральные — путем вторичной. Первоначально происходит образование комплексов «белки-полифенолы», а далее происходит увлечение их в осадок при воздействии стабилизатора [25–27]. Некоторые исследования указывают, что заряд хитозана также помогает ему связывать в прочные комплексы бактериальные и дрожжевые клетки, а также противоионы, к числу которых относятся анионы минеральных кислот, в том числе фосфаты, сульфаты, сульфиты и т.п. [28]. Поэтому комплексообразующие и ионообменные свойства хитозана могут быть широко востребованы для дальнейшего развития технологии вин, а исследования по определению возможности применения хитозана в технологии винодельческой продукции актуальны и перспективны.

Предметом исследования являлась сорбционная способность хитозана по отношению к белкам и полифенолам.

В качестве **объектов исследования** выступали пять различных образцов: сок яблочный концентрированный (образец № 1), сок черноплодной рябины (образец № 2), виноматериал в стадии брожения (образец № 3), виноматериал снятый с брожения (образец № 4), виноматериал после года отстаивания (образец № 5).

Цель исследования — изучение возможности применения хитозана в технологии винодельческой продукции.

Материалы и методы исследования. На первом этапе было проведено исследование по определению склонности соков и виноматериалов к помутнениям биохимического и физико-химического характера. Образцы соков и виноматериалов были получены на предприятии ОАО «Дятловский ликеро-водочный завод «Алгонь». Отбор проб соков и виноматериалов осуществляют по СТБ 1384 [29]. Методика проведения испытаний на склонность к помутнениям биохимического и физико-химического характера соков и виноматериалов соответствует ТИ ВУ 190239501.9-2.007-2011.

На втором этапе было проведено исследование по определению сорбционной способности хитозана по отношению к белкам и полифенолам на образцах соков и виноматериалах. Для определения концентрации полифенолов до и после сорбции использовали метод Еруманиса [30]. Принцип метода заключается в реакции полифенолов с лимоннокислым железозаммонием в щелочной среде, в результате чего образуется окрашенное соединение. В ходе исследования измеряется оптическая плотность раствора на спектрофотометре в основном опыте и в двух контролях.

Концентрацию полифенолов в образцах после сорбции определяли каждые 5 минут, чтобы установить оптимальную экспозицию. Масса сорбента, добавляемого в раствор, составляет 0,001 г на 100 мл. Содержание полифенолов (мг/дм³) рассчитывали по формуле (1):

$$X = [A - (B + C)] \cdot 820, \quad (1)$$

где А — оптическая плотность образца в основном опыте; В — оптическая плотность в контроле 1; С — оптическая плотность в контроле 2 (0,004); 820 — коэффициент пересчета на полифенолы.

Для виноматериалов количество белковых веществ в которых относительно небольшое, целесообразно пользоваться чувствительными методами, включающими предварительное концентрирование.

Нами для определения количеств белка в соках и виноматериалах использован метод Лоури в модификации Д.Шакерле и Р.Поллак позволяющий определить небольшое (0,1 — 0,2 мг/л) количество белка без предварительного концентрирования [31].

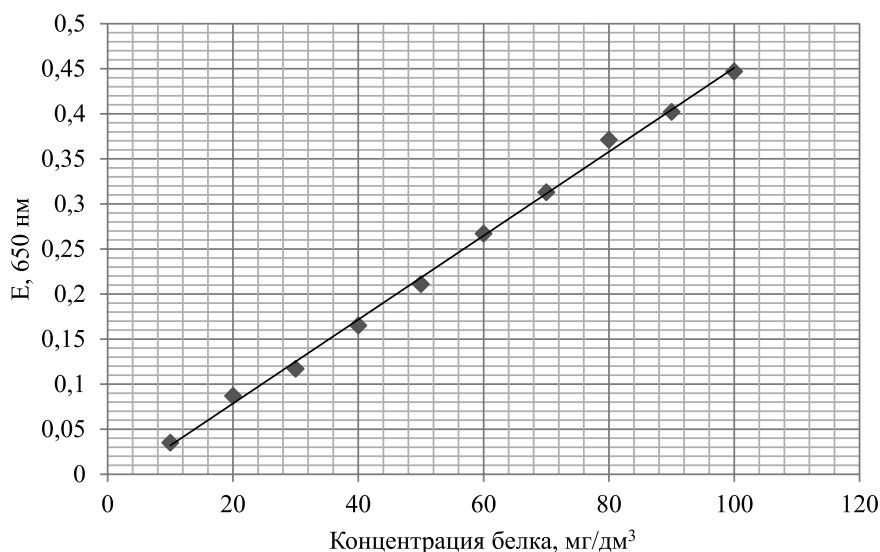


Рис. 1. Калибровочный график
Fig. 1. Calibration graph

При определении использованы следующие реактивы:

1) Реактив А: 0,5 н едкий натр, содержащий 10%-ный углекислый натрий, 0,2%-ный калий, натрий виннокислый-таратрат и 0,05%-ный раствор сернокислой меди.

2) Реактив Б: к 0,5 мл 1 н раствора реактива фолина добавляют 4 мл воды. Техника определения. Для определения белка в винах отбирали 10 мл исследуемого образца в центрифужные пробирки и прибавляли 1,0 мл 80%-ной трихлоруксусной кислоты, оставляя на час в холодильнике для осаждения, после чего центрифугировали в течение 1 ч при 5000 об/мин. Затем осторожно надосадочную жидкость сливали и осадок растворяли. Приливая 1 мл 1 н едкого натрия и 1 мл дистиллированной воды. Далее для определения белка к 1 мл исследуемого раствора добавляли 1 мл реактива А. Пробирки оставляли при комнатной температуре

на 10 минут. К полученной смеси добавляли 4 мл реактива Б и пробирки помещали в водяную баню при 55°C на 5 минут. После окончания инкубации пробирки быстро охлаждали и измеряли интенсивность окраски при 650 нм на фотоэлектроколориметре ФЭК-56. В качестве контроля вместо исследуемого образца берется дистиллированная вода. Далее по калибровочной кривой на рис. 1, рассчитывали количество белка в исследуемом образце. Для построения калибровочного графика в качестве метчика использован яичный альбумин.

Результаты исследований и их обсуждение. Результаты по проведению испытаний на склонность к помутнениям биохимического и физико-химического характера соков и виноматериалов представлены в табл. 1–3. Также для каждого из образцов была измерена оптическая плотность контрольного образца и после проведения испытаний для количественного подтверждения полученных результатов (длина волны 600 нм).

Таблица 1. Результаты после испытания нагреванием до 75 °C
Table 1. Results after heating test up to 75 °C

№ образца	Оптическая плотность контрольного образца	Оптическая плотность образца после испытаний	Заключение
1	2,457±0,0012	3,011±0,0006	Сок склонен к необратимым коллоидным помутнениям
2	3,725±0,0007	3,908±0,0009	Сок склонен к необратимым коллоидным помутнениям
3	2,671±0,0006	2,865±0,0003	Виноматериал склонен к необратимым коллоидным помутнениям
4	1,014±0,0007	1,486±0,0012	Виноматериал склонен к необратимым коллоидным помутнениям
5	0,175±0,0006	0,312±0,0024	Виноматериал склонен к необратимым коллоидным помутнениям

Таблица 2. Результаты после 3,0 %-ного раствора танина
Table 2. Results after 3,0 % tannin solution

№ образца	Оптическая плотность контрольного образца	Оптическая плотность образца после испытаний	Заклучение
1	2,457±0,0012	2,927±0,0009	Сок склонен к необратимым коллоидным помутнениям
2	3,725±0,0007	3,904±0,0009	Сок склонен к необратимым коллоидным помутнениям
3	2,671±0,0006	2,860±0,0019	Виноматериал склонен к необратимым коллоидным помутнениям
4	1,014±0,0007	1,591±0,0012	Виноматериал склонен к необратимым коллоидным помутнениям
5	0,175±0,0006	0,262±0,0009	Виноматериал склонен к необратимым коллоидным помутнениям

Таблица 3. Результаты после охлаждения
Table 3. Results after cooling

№ образца	Оптическая плотность контрольного образца	Оптическая плотность образца после испытаний	Заклучение
1	2,457±0,0012	2,873±0,0003	Сок склонен к необратимым коллоидным помутнениям
2	3,725±0,0007	3,824±0,0021	Сок склонен к необратимым коллоидным помутнениям
3	2,671±0,0006	2,954±0,0009	Виноматериал склонен к необратимым коллоидным помутнениям
4	1,014±0,0007	2,242±0,0012	Виноматериал склонен к необратимым коллоидным помутнениям
5	0,175±0,0006	0,182±0,0012	Виноматериал склонен к необратимым коллоидным помутнениям

По результатам трех испытаний, которые представлены в табл. 1 — 3, было установлено, что все пять образцов соков и виноматериалов склонны к образованию необратимых коллоидных помутнений. Так как основной причиной образования коллоидной мути является образование белково-полифенольных комплексов, было проведено исследование по определению адсорбционной способности хитозана по отношению к белкам и полифенолам на образцах соков и виноматериалов. Результаты по определению концентрации полифенолов в образцах до адсорбции представлены в табл. 4.

Таблица 4. Содержание полифенолов в образцах соков и виноматериалов
Table 4. The content of polyphenols in samples of juices and wine materials

№ образца	Концентрация полифенолов мг/дм ³
1	342,44±0,003
2	441,28±0,002
3	724,16±0,003
4	583,22±0,003
5	321,80±0,002

Результаты по определению адсорбционных способностей хитозана по отношению к полифенолам на образцах соков и виноматериалов представлены на рис. 2 и рис. 3.

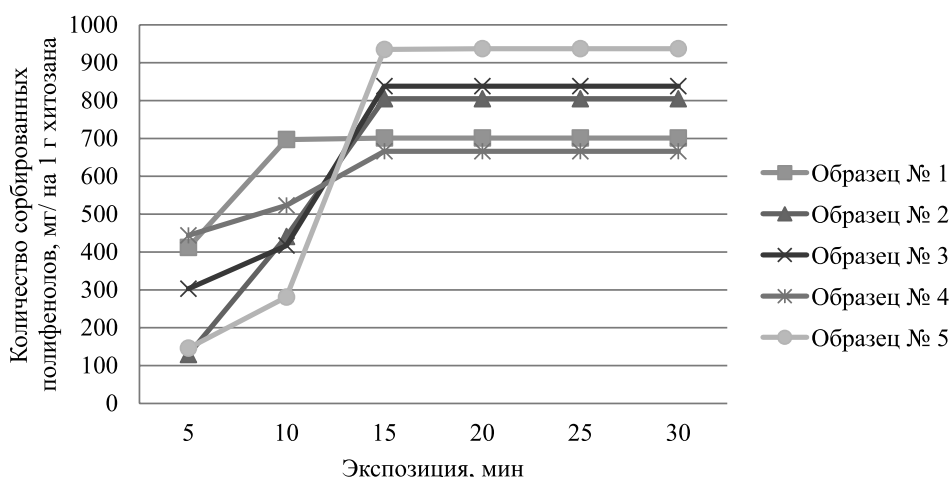


Рис. 2. Адсорбция хитозаном полифенолов в соках и виноматериалах
Fig. 2. Adsorption of polyphenols by chitosan in juices and wine materials

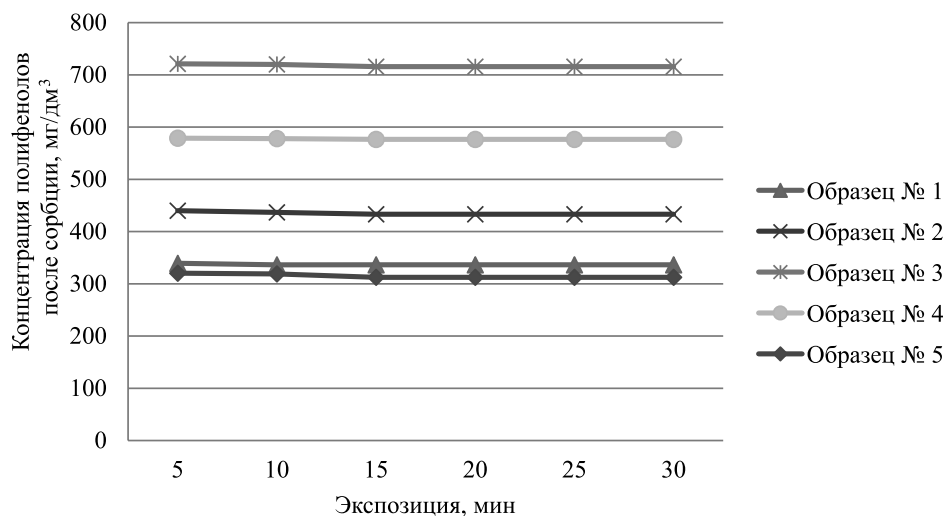


Рис. 3. Изменение концентрации полифенолов в соках и виноматериалах в процессе адсорбции
Fig. 3. Changes in the concentration of polyphenols in juices and wine materials during adsorption

Анализируя представленные на рис. 2 и рис. 3 данные, можно сделать вывод, что максимум адсорбции хитозаном полифенолов в соках и виноматериалах приходится на 15–30 минут. Адсорбционные способности хитозана к полифенолам соков и виноматериалов составила $666,00 \pm 0,3 - 937,00 \pm 0,1$ мг к 1 г сорбента, за это время концентрация полифенолов снижается незначительно, на 1,14 – 2,91 %, что говорит о том, что применение хитозана не будет негативно влиять на биологическую ценность винодельческой продукции. Концентрация белка в исследуемых образцах представлена в табл. 5.

Таблица 5. Содержание белка в образцах соков и виноматериалах до сорбции
Table 5. Protein content in juice samples and wine materials before sorption

№ образца	Концентрация белка, мг/дм ³
1	$58,43 \pm 0,02$
2	$41,18 \pm 0,04$
3	$64,13 \pm 0,01$
4	$43,12 \pm 0,02$
5	$31,22 \pm 0,02$

Результаты по определению сорбционных способностей хитозана по отношению к белкам на образцах соков и виноматериалов представлены на рис. 4. и рис. 5.

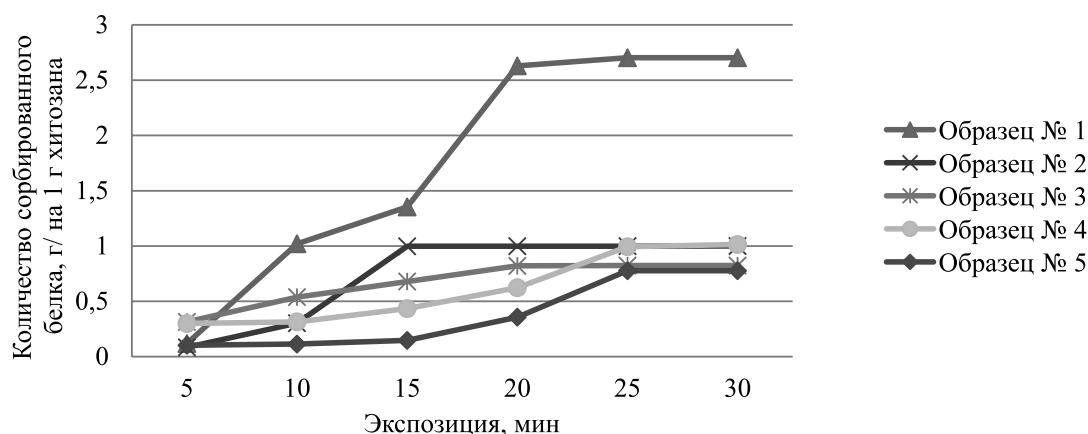


Рис. 4. Адсорбция хитозаном белков в соках и виноматериалах
Fig. 4. Chitosan adsorption of proteins in juices and wine materials

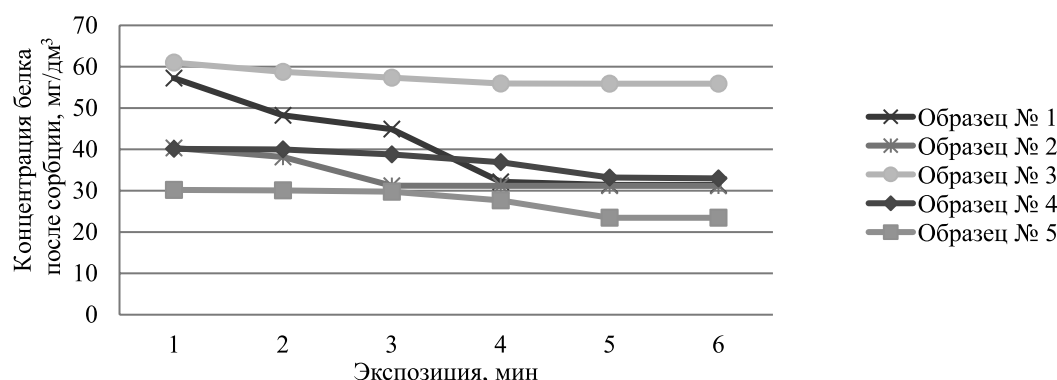


Рис. 5. Изменение концентрации белков в соках и виноматериалах в процессе адсорбции
Fig. 5. Changes in the concentration of proteins in juices and wine materials during adsorption

Анализ полученных графиков (рис. 4 и рис. 5) позволил установить, что оптимальная экспозиция для сорбции белков в соках и виноматериалах для хитозана — диапазон 20–30 минут, концентрация белка снижается на 12,89 – 46,26 %, сорбционные способности хитозана к белкам соков и виноматериалов составила $0,777 \pm 0,002 - 2,703 \pm 0,002$ г к 1 г сорбента. Данные выводы сопоставимы с результатами исследований других ученых [32, 33], где

установлено, что хитозан не только повышает коллоидную стойкость вина, но при этом не ухудшает его органолептические и целебные свойства.

Заключение. Исследованы адсорбционные способности хитозана по отношению к белкам и полифенолам на образцах соков и виноматериалов. Установлено, что максимум адсорбции хитозаном полифенолов приходится на 15–30 минут, адсорбционная способность хитозана к полифенолам составила $666,00 \pm 0,3$ — $937,00 \pm 0,1$ мг к 1 г сорбента, за это время концентрация полифенолов снижается на 1,14 — 2,91 %.

Оптимальная экспозиция для сорбции белков хитозаном — диапазон 20–30 минут, концентрация белка снижается на 12,89 — 46,26 %, сорбционные способности хитозана к белкам составила $0,777 \pm 0,002$ — $2,703 \pm 0,002$ г к 1 г сорбента.

По результатам проведенных исследований, можно заключить, что хитозан может использоваться в технологии винодельческой продукции в качестве стабилизатора для удаления чрезмерного количества белков и предотвращения необратимых коллоидных помутнений в дозировке 1 — 10 г на 1 гл материала подлежащего обработке.

Список использованных источников

1. Валуйко, Г. Г. Стабилизация виноградных вин / Г. Г. Валуйко, В. И. Зинченко, Н. А. Мехузла // Симферополь: Таврида, 2002. — 208 с.
2. Практикум по химии вина: учебное пособие / Е. П. Шольц-Куликов [и др.]. — Ростов-на-Дону: Донской государственный технический университет, 2017. — 268 с.
3. Яшин, А. Я. Красное вино: химический состав, антиоксидантная активность, влияние на здоровье человека / А. Я. Яшин, Я. И. Яшин, А. Н. Веденин // Аналитика. — 2020. — Т. 10. — №. 1. — С. 38–53.
4. Чурсина, О. А. Оптимизация технологии коллоидной стабилизации вин / О. А. Чурсина, В. А. Загоруйко, В. Н. Ежов // Магарач: Виноградарство и виноделие. — 2012. — №. 3. — С. 24–26.
5. Агеева, Н. М. Экспресс-метод сканирующей электронной микроскопии для идентификации веществ, вызывающих коллоидные помутнения вин / Н. М. Агеева, В. Е. Андреева // Плодоводство и виноградарство Юга России. — 2012. — №. 13. — С. 120–126.
6. Трусова, М. М. Перспективы использования хитозана как стабилизатора при коллоидных помутнениях / М. М. Трусова, Т. Н. Камедько, О. В. Павлова // Пищевая промышленность: наука и технологии. — 2022. — Т. 14. — №. 4. — С. 97–102.
7. Чурсина, О. А. Исследование закономерностей формирования коллоидных помутнений вин / О. А. Чурсина, В. А. Загоруйко, В. Н. Ежов // Магарач: Виноградарство и виноделие. — 2012. — №. 4. — С. 21–23.
8. Protein polysaccharide interactions and their impact on haze formation in white wines / M. Dufrechou [et al.] // Journal of agricultural and food chemistry. — 2015. — V. 63. — №. 45. — P. 10042–10053.
9. Siebert, K. J. Haze formation in beverages / K. J. Siebert // LWT-Food Science and Technology. — 2006. — V. 39. — №. 9. — P. 987–994.
10. Сарафанова, Л. А. Применение пищевых добавок в индустрии напитков / Л.А. Сарафанова. — СПб.: Профессия, 2007. — 240 с.
11. Бурачевский, И. И. Технологические приемы стабилизации полуфабрикатов ликероводочного производства / И.И. Бурачевский, Е.В. Воробьева, Л.П. Галлямова // Ликероводочное производство и виноделие. — 2011. — № 11. — С. 2–3.
12. Зуева, О. Натуральные и безаллергенные / О. Зуева // Ликероводочное производство и виноделие. — 2012. — № 7. — С. 16–17.
13. Агеева, Н. М. Влияние ферментных препаратов на биополимерный комплекс плодовых соков / Н.М. Агеева, Л.В. Гнетько, Т.А. Белявцева // Виноделие и виноградарство. — 2011. — № 4. — С. 24–25.
14. Неровных, Л. П. О целесообразности использования дисперсных минералов в технологии игристых вин / Л.П. Неровных // Образование — наука — технологии: материалы 17-й Всероссийской научно-практической конференции. — Т. 1. — Майкоп, 2010. — С. 334–335.
15. Меледина, Т. В. Сырье и вспомогательные материалы в пивоварении / Т.В. Меледина. — СПб.: Профессия, 2003. — 304 с.
16. Егорова, О. С. Обработка вин с целью обеспечения стабильности к полифенольным помутнениям / О. С. Егорова, Д. Р. Летфуллина // Пищевая промышленность. — 2018. — №. 6. — С. 40–42.
17. Нимш, К. Стабилизация пива кизельгелем / К. Нимш, В.И. Николашкин, Ф.В. Николашкин // Пиво и напитки. — 2003. — № 4. — С. 36–39.
18. Нимш, К. Силикагель и силикагель — аспекты качества / К. Нимш, Ф.В. Николашкин // Пиво и напитки. — 2005. — № 2. — С. 26–28.
19. Влияние различных технологических способов и оклеивающих материалов на коллоидную стабильность вина / Ш. И. Шатиришвили [и др.] // Известия аграрной науки. — 2011. — № 3. — С. 94–96.

20. Производство водок и ликероводочных изделий / И. И. Бурачевский [и др.] — М.: ДеЛипринт, 2009. — 324 с.
21. Валушко, Г. Г. Технология виноградных вин / Г. Г. Валушко. — Симферополь: Таврида, 2001. — 624 с.
22. Phillips, G. O., Williams, P. A. Handbook of hydrocolloids / G. O. Phillips, P. A. Williams // Elsevier. — 2009. — 924 p.
23. Краснова, Т. А. Кинетика адсорбции смесей органических веществ из водных растворов активными углями / Т. А. Краснова, И. В. Тимошук, М. П. Кирсанов // Вода: химия и экология. — 2014. — № 7. — С. 69–74.
24. Применение новых активных углей на основе растительного сырья в производстве высокосортных водок / Поляков В.А. [и др.] // Пиво и напитки. — 2014. — №4. — С. 8–11.
25. Сергеева, И. Ю. Применение хитозана для стабилизации коллоидной системы напитков // Техника и технология пищевых производств. — 2014. — № 1 (32). — С. 84–89.
26. Chitosan–hydroxycinnamic acid conjugates. Preparation, antioxidant and antimicrobial activity / Lee D.S. [et al.] // Food Chemistry. — 2014. — Vol. 148. — P. 97–104.
27. Hammond, M. D. Anti-oxidant properties of Chitosan coatings on frozen atlantic salmon fillet portions / M. D. Hammond, I. Skonberg // Journal of Aquatic Food Product Technology. — 2012. — Vol. 21. — P. 351–361.
28. Сорбционные свойства материалов на основе хитозана и углеродных добавок / Политаева Н.А. [и др.] // Вестник Технологического университета. — 2017. — Т. 20. — № 23. — С. 100–103.
29. Продукты винодельческой промышленности. Правила приемки и методы отбора проб: СТБ ГОСТ РБ 1384-2010. — Взамен СТБ 1384-2003 ; введ. 15.06.10. — Минск : БелГИСС, 2010. — 7 с.
30. Ермолаева, Г. А. Справочник работника лаборатории пивоваренного предприятия / Г.А. Ермолаева. — СПб.: Профессия, 2004. — 536 с.
31. Кравченко, Е. М. Сравнение методик определения белка в растительном сырье / Е. М. Кравченко, И. Д. Одарюк // Химические проблемы современности 2021 : Сборник материалов V Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Донецк, 18–20 мая 2021 года. — Донецк: Донецкий национальный университет, 2021. — С. 116–119.
32. Комиссарчик, С. М. Исследование взаимодействия хитозана с фенольными веществами вин / С. М. Комиссарчик, Т. В. Кусмарцева, Г. Г. Няникова // 4-й Международный Конгресс «Биотехнология — состояние и перспективы развития». — М.: Изд-во РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2007. — Ч. 2. — С. 175–180.
33. Кусмарцева, Т. В. Роль хитина и хитозана в стабилизации вин против коллоидных помутнений / Т. В. Кусмарцева, Е. Ю. Елдинова, Г. Г. Няникова // 3-й Международный Конгресс «Биотехнология — состояние и перспективы развития». — М.: Изд-во РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2005. — Ч. 2. — С. 121–122.

Информация об авторах

Мария Михайловна Трусова, магистр биологических наук, старший преподаватель кафедры технологии, физиологии и гигиены питания учреждения образования «Гродненский государственный университет им. Я. Купалы» (230025, Республика Беларусь, г. Гродно, пер. Доватора 3/1, каб. 113).

E-mail: brui.92@mail.ru

Information about authors

Maria Mikhailovna Trusova, Master of Biological Sciences, Senior Lecturer at the Department of Technology, Physiology and Food Hygiene, educational institution “Grodno State University named after Ya. Kupala” (230025, Republic of Belarus, Grodno, per. Dovatora 3/1, room 113).

E-mail: brui.92@mail.ru

УДК 664.87

Поступила в редакцию 10.02.2023
Received 10.02.2023**К. С. Рябова, И. М. Почицкая, О. В. Шолохова, Е. Г. Авдюк***РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси
по продовольствию», г. Минск, Республика Беларусь***ИЗУЧЕНИЕ УДЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ РАДИОНУКЛИДОВ ЦЕЗИЯ-137
И СТРОНЦИЯ-90 В РАСТИТЕЛЬНОМ СЫРЬЕ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ
ОТВАРОВ**

Аннотация. В настоящей работе представлены результаты исследования по содержанию стронция-90 и цезия-137 в образцах дикорастущего лекарственного сырья (лапчатки белой) и отвара из него. Контроль содержания радионуклидов проводили на гамма-бета спектрометре МКС-АТ 1315 методом регистрации гамма- и бета-излучения сцинтилляционными блоками детектирования. Исследования позволили выявить переход цезия-137 из сухой травы лапчатки белой в отвар в количестве не более 40%. При этом стронций-90 практически не мигрирует из сухой травы в раствор.

Ключевые слова: радиоактивные вещества, радиоактивный распад, лекарственные травы, сцинтилляционный блок детектирования, гамма и бета радионуклиды.

K. S. Ryabova, I. M. Pochiskaya, O. V. Sholohova, E. G. Avdiuk*RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National
Academy of Sciences of Belarus”, Minsk, Republic of Belarus***STUDYING THE SPECIFIC ACTIVITY OF CESIUM-137 AND
STRONTIUM-90 RADIONUCLIDES IN PLANT RAW MATERIALS IN THE
MANUFACTURE OF DECOTIONS**

Abstract. This paper presents the results of a study on the content of strontium-90 and cesium-137 in samples of wild-growing medicinal raw materials (Potentilla white) and a decoction from it. The content of radionuclides was monitored using an MKS-AT 1315 gamma-beta spectrometer by detecting gamma and beta radiation with scintillation detection units. Studies have revealed the transition of cesium-137 from the dry herb of Potentilla white to a decoction in an amount of not more than 40%. At the same time, strontium-90 practically does not migrate from dry grass into solution.

Key words: radioactive substances, radioactive decay, medicinal herbs, scintillation detection unit, gamma and beta radionuclides.

Введение. Радиоактивные вещества распадаются со строго определенной скоростью, измеряемой периодом полураспада, т.е. временем, в течение которого распадается половина всех атомов. Радиоактивный распад не может быть остановлен или ускорен каким-либо способом.

Самопроизвольный распад радиоактивных ядер сопровождается ионизирующим излучением. Каждый радионуклид распадается со своей скоростью. Таким образом, активность — это мера количественного радиоактивного вещества, выражаемая числом радиоактивных превращений в единицу времени.

Известно, что 2/3 общего состава ткани человека составляют вода и углерод; вода под воздействием излучения расщепляется на водород H и гидроксильную группу OH, которые либо непосредственно, либо через цепь вторичных превращений образуют продукты с высокой химической активностью: гидратный оксид HO_2 и перекись водорода H_2O_2 . Эти соединения взаимодействуют с молекулами органического вещества ткани, окисляя и разрушая ее. Любой вид ионизирующих излучений вызывает биологические изменения в организме,

как при внешнем, так и при внутреннем облучении. Индуцированные свободными радикалами химические реакции развиваются с большим выходом и вовлекают в этот процесс многие сотни молекул, не затронутых излучением. В этом состоит специфика действия ионизирующего излучения на биологические объекты, заключающаяся в том, что производимый им эффект обусловлен не столько поглощенной энергией в облучаемом объекте, сколько той формой, в которой эта энергия передается [1, 2].

Исследования, проводимые в настоящее время, подтверждают накопление радионуклидов фитомассой различных видов лекарственных растений. При этом дикорастущие лекарственные растения активно используются населением, особенно в сельской местности [1, 2].

Актуальность исследования заключается в необходимости изучения содержания радионуклидов в лекарственном сырье и предотвращении использования загрязненного сырья в народной медицине и хозяйственных нуждах человека, т.к. ионизирующее излучение вызывает в живом организме цепочку обратимых и необратимых изменений, которые приводят к биологическим последствиям, зависящим от воздействия и условий облучения. При этом действие ионизирующих излучений на организм неощутимы человеком, суммирование доз происходит скрыто, что в случае систематического попадания радиоактивных веществ неизбежно приведет к лучевым заболеваниям.

Цель исследований заключается в изучении миграции радионуклидов из сухого лекарственного сырья в отвар, который применяется в народной медицине.

Материалы и методы исследований. В качестве объекта испытаний выступила лапчатка белая (растительная часть). Лапчатка белая применяется в «народной медицине» в качестве лекарственного средства для нормализации функции щитовидной железы, используются для профилактики болезней щитовидной железы, таких как тиреотоксикоз, гипертиреоз, гиперплазия, гипотериоз. По литературным данным лапчатка белая содержит значительное количество йода, что и позволяет ее использовать при нарушениях в функционировании щитовидной железы. К фармакологическим свойствам лапчатки относят вяжущий, кровоостанавливающий, противовоспалительный, бактерицидный, иммуностимулирующий, противосудорожный, мочегонный. Наружно отвар травы используют для полосканий при зубной боли, воспалительных процессах полости рта и глотки, воспалительных процессах кожи, язвах и кровоточащих ранах.

Образец, для проведения исследования, получен в рамках проведения межлабораторных сличительных испытаний в соответствии с требованиями ГОСТ ISO/IEC 17043-2013.

Для приготовления отвара отобрано от общей пробы массой 1000 г навеска 50 г и добавлено деионизированной воды 1000 г (соответствует требованиям ГОСТ 6709 и ГОСТ ISO 3696-2013). Смесь кипятилась 5 минут и выдерживалась 1,5 часа. Затем надосадочная жидкость сливалась, а заварка отжималась до прекращения выделения влаги. При приготовлении раствора руководствовались инструкцией по применению лапчатки белой.

При определении содержания сухих веществ в образцах руководствовались ГОСТ 24027.2-80. Пробы высушивали при температуре 100-105°C в течение 2 часов, до разницы между результатами 0,0005 г.

Определение удельной активности цезия-137 и стронция-90 осуществлялось по МВИ. МН.1181-2011 на гамма-бета спектрометре МКС-АТ 1315 (зав. №5153). Измерение удельной активности радионуклидов выполняли методом регистрации гамма- и бета-излучения сцинтилляционными блоками детектирования. Для регистрации гамма-излучения применялся блок детектирования на основе сцинтилляционного кристалла NaI, а для регистрации бета-излучения использовался органический сцинтиллятор на основе полистирола, активированного паратерфинилом. Необходимо отметить, что йодистый натрий, активизированный таллием, в настоящее время является лучшим сцинтиллятором для регистрации γ -излучения, что объясняется большой плотностью и высоким средним атомным номером NaI (TI). Также зависимость интенсивности сцинтилляций от энергии для β -частиц и γ -излучений линейна, что также способствует широкому применению в спектрометрии. Паратерфинил по своим свойствам близок к транстильбену. Кристаллы этой серии имеют самое короткое время высвечивания, что позволяет их широко применять для счета сцинтилляций при большой интенсивности ионизирующего излучения. При этом максимальная интенсивность световой вспышки имеет место при облучении частицами с минимальной ионизирующей способностью, например быстрыми электронами. При увеличении ионизирующей способности частиц конверсионная эффективность резко падает. Предположительно, зависимость конверсионной эффективности от природы и энергий частиц обусловлено образованием поврежденных молекул в ионной колонне, вследствие чего часть фотонов тушится. Вероятность тушения пропорциональна плотности ионизации. Для быстрых электронов плотность ионизации невелика и тушение пренебрежимо мало, поэтому интенсивность вспышки про-

порциональна величине поглощенной энергии. Для размещения проб применялись измерительные сосуды 1 дм³ (Маринелли) и 0,5 дм³. Измерения выполнялись специалистами, знакомыми с основами спектрометрии и радиометрии, прошедшими внешнее обучение по направлению проводимых исследований. Условия измерения соответствовали требованиям МВИ.МН 1181-2011. Внешний фон гамма-излучения измерялся дозиметром-радиометром МКС-АТ 6130А (зав. №15261) и составил менее 0,1 мкЗв/ч. Принцип действия дозиметра-радиометра основан на измерении интенсивности импульсов, генерируемых в газоразрядном счетчике Гейгера-Мюллера под воздействием рентгеновского, гамма- и бета-излучения. Измерения фоновых характеристик проводилось для каждого сосуда, заполненного деионизованной водой для учета эффекта экранирования излучения самой пробой, за время измерения не менее 10800 с. Т.к. в рамках данного исследования необходимо определить активность радионуклидов в пробе с плотностью менее 0,3 г/см³, также измерения фоновых характеристик провели и без сосуда, время измерения составило 10800 с. Измерения удельной активности радионуклидов выполняли путем экспозиции исследуемой пробы в блок защиты гамма-бета спектрометра МКС-АТ 1315 [3–12].

Результаты исследований и их обсуждение. Аккумуляция цезия-137 и стронция-90 в образцах сухой травы, отвара и заварки травы приведена в табл. 1.

Таблица 1. Удельная активность цезия-137 и стронция-90 в образцах, представленных на испытания

Table 1. Specific activity of cesium-137 and strontium-90 in samples submitted for testing

Наименование исследуемого образца	Масса навески, г	Удельная активность цезия-137*, Бк/кг	Удельная активность стронция-90*, Бк/кг
Высушенная трава лапчатки белой	219,70	556,3±114,9	176,4±36,5
Отвар травы лапчатки белой	1019,30	13,4±2,8	<10
Заварка травы лапчатки белой	474,70	47,8±10,0	37,9±9,5

* Среднее значение между 5 параллельными измерениями

Как видно из данных, представленных в табл. 1, содержание цезия-137 превышает в 1,5 раза установленную концентрация в 370 Бк/кг в Гигиеническом нормативе 2.6.1.8-10-2004 «Республиканский допустимый уровень содержания цезия-137 в лекарственно-техническом сырье (РДУ/ЛТС-2004)». В данном документе не установлены требования по допустимому уровню содержания стронция-90. Приведенные данные показывают, что в отвар травы лапчатки белой не переходит изотоп стронция-90, возможно он находится в количествах, которые используемое оборудование не позволяет достоверно определить. Относительно цезия-137 вывод о безопасности данного раствора сделать невозможно, однако можно утверждать, что содержание цезия-137 в нем находится в диапазоне от 10,6 до 16,2 Бк/кг. При этом остается высокая концентрация стронция-90 и цезия-137 в заварке травы 37,9 Бк/кг и 47,8 Бк/кг соответственно.

Для более полного понимания, как происходит миграция радионуклидов из сухой травы в отвар определены сухие вещества в отваре и заварке травы. Результаты приведены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты испытаний по определению цезия-137 в пересчете на сухое вещество

Table 2. Test results for the determination of caesium-137 in terms of dry matter

Наименование исследуемого образца	Удельная активность цезия-137, Бк/кг, в пересчете на сухое вещество
Высушенная трава лапчатки белой (содержание сухих веществ 91,6%)	607,3
Отвар травы лапчатки белой (содержание сухих веществ 1,3%)	239,6*
Заварка травы лапчатки белой (содержание сухих веществ 13%)	367,7

* значение получено путем вычитания результата измерений в заварке от активности цезия-137 в высушенной траве (использовались результаты пересчета на сухое вещество)

Результаты, представленные в табл. 2, показывают, что 60,6% радионуклида цезия-137 остается в травяной части, и только 39,4% переходит в раствор. Можно утверждать, что при

содержании цезия-137 в пределах до 370 Бк/кг в сухой лекарственной траве лапчатка белая, установленных в РДУ/ЛТС-2004, отвар, применяемый в народной медицине, будет безопасен для употребления.

Данные удельной активности стронция-90 в исследуемых образцах с учетом пересчета на сухое вещество приведены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты испытаний по определению стронция-90 в пересчете на сухое вещество
Table 3. Test results for the determination of strontium-90 in terms of dry matter

Наименование исследуемого образца	Удельная активность стронция-90, Бк/кг	
	Диапазон содержания без учета сухих веществ	Диапазон содержания в пересчете на сухое вещество
Высушенная трава лапчатки белой (содержание сухих веществ 91,6%)	139,9-212,9	152,7-232,4
Отвар травы лапчатки белой (содержание сухих веществ 1,3%)	<10	-
Заварка травы лапчатки белой (содержание сухих веществ 13%)	28,4-47,4	218,5-364,6

Данные таблицы 3 показывают, что в отвар травы лапчатки белой радионуклид стронций-90 не переходит и в полном объеме остается в заварке травы. Необходимо отметить, что получение достоверной информации при расшифровке бета-спектров сложная задача в прикладной спектрометрии ионизирующих излучений. Это связано с идентификацией непрерывных спектров бета-излучений, которые возникают в связи с одновременной регистрацией рентгеновского, гамма-излучений и комптоновских электронов. Также имеет место эффект обратного рассеивания электронов. Для снижения побочных явлений и уменьшения искажения бета-спектра применяются аппаратные способы. В используемом гамма-бета спектрометре для обработки спектров используется метод максимального правдоподобия. Метод специфичен к радионуклидному составу проб и используется в предположении наличия в пробе искомым радионуклидов.

Заключение. Таким образом, проведенные исследования показывают переход цезия-137 из сухой травы лапчатки белой в отвар в количестве 39,4%. При этом в случае безопасного содержания данного радионуклида в сухой траве, отвар, применяемый в народной медицине, также можно считать безопасным. Относительно стронция-90, то миграция данного радионуклида из сухой травы в раствор не определяется. Возможно, удельная активность стронция-90 в отваре находится в концентрациях, которые невозможно определить на используемом оборудовании. Однако, как показывают полученные результаты, стронций-90 полностью сохраняется в заварке травы лапчатки белой. Данную заварку нельзя использовать как лекарственное средство или добавлять в корм животным. Полученные результаты, можно объяснить свойствами радионуклидов цезия-137 и стронция-90, которые в живой клетке ведут себя подобно калию и кальцию соответственно.

Список использованных источников

1. Ярмоненко, С. П. Радиобиология человека и животных / С.П. Ярмоненко. — М.: Высшая школа, 1988. — 549 с.
2. Гордейко, В. А. Радиация вокруг нас / В. А. Гордейко. — Брест: Академия, 2004. — 138 С.
3. Макаров, В. И. Блоки детектирования ионизирующих излучений / В. И. Макаров; под ред. Е. А. Левандовского. — М.: Атомиздат, 1972. — 72 с.
4. Медведев, М. Н. Сцинтилляционные детекторы / М. Н. Медведев. — Москва: Атомиздат, 1977. — 136 с.
5. Радиометрия и дозиметрия : курс лекций. В 3 ч. Ч. 2. Сцинтилляционные, полупроводниковые и трековые детекторы / Т. В. Сачивко, Ю. В. Азаренко. — Горки : БГСХА, 2018. — 89 с.
6. Мухин, К. Н. Экспериментальная ядерная физика : в 2 т. / К. Н. Мухин. М., 1993. — Т. 1. — 408 с.
7. Абрамов, А. И. Основы экспериментальных методов ядерной физики / А. И. Абрамов, Ю. А. Казанский, Е. С. Матусевич. — М., 1990. — 370 с.
8. Полупроводниковые детекторы в экспериментальной физике / Ю. К. Акимов [и др.]. — М.: Мир, 1989. — 216 с.
9. Ефремов, И. В. Методы регистрации и расчет защиты от ионизирующих излучений: методические указания / И. В.Ефремов, Е. Л. Горшенина, В. А. Солопова;— Оренбург : Оренбургский гос. ун-т, 2013. — 78 с.

10. Дубоделова, Е. В. Радиохимия : пособие для студентов специальности 1-54 01 03 «Физико-химические методы и приборы контроля качества продукции» / Е. В. Дубоделова, С. С. Ветохин. — Минск : БГТУ, 2014. — 202 с.
11. Кужир, П. Г. Прикладная ядерная физика / П. Г. Кужир. — Минск: Технопринт, 2004. — 113 с.
12. Пикаев, А. К. Современная радиохимия: основные положения: экспериментальная техника и методы / А. К. Пикаев. — М.: Наука, 1985. — 375 с.

Информация об авторах

Рябова Кристина Святославна, 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: ryabova.ks@gmail.com

Почицкая Ирина Михайловна, доктор технических 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» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: pochitskaja@yandex.ru

Шолохова Ольга Владимировна, руководитель группы радиологии лаборатории токсикологических исследований 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: info@belproduct.com

Авдиук Евгения Григорьевна, заведующий лабораторией токсикологических исследований 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: info@belproduct.com

Information about authors

Ryabova Kristina Svyatoslavovna, PhD (Technical), Head of the Republican Control and Testing Complex for Food Quality and Safety of RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29 Kozlova str., 220037, Minsk, Belarus).

E-mail: ryabova.ks@gmail.com

Pochitskaya Irina Mikhailovna, Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher — Head of the Research Group of the Republican Control and Testing Complex for the Quality and Safety of Food Products of RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29 Kozlova str., 220037, Minsk, Belarus).

E-mail: pochitskaja@yandex.ru

Sholokhova Olga Vladimirovna, Head of the Radiology Group of the Toxicological Research Laboratory of the Republican Control and Testing Complex for Food Quality and Safety of Food Products of RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29 Kozlova str., 220037, Minsk, Belarus).

E-mail: info@belproduct.com

Avdiuk Evgeniya Grigorievna, Head of the Laboratory of Toxicological Research of the Republican Control and Testing Complex for Food Quality and Safety of Food Products of RUE “Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National Academy of Sciences of Belarus” (29 Kozlova str., 220037, Minsk, Belarus).

E-mail: info@belproduct.com

УДК 667.272:665.584

Поступила в редакцию 12.07.2023
Received 12.07.2023**Т. М. Шачек, Л. Н. Протасеня, Е. Н. Зеленкова***Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»,
г. Минск, Республика Беларусь***ПРИМЕНЕНИЕ НАТУРАЛЬНОГО КРАСИТЕЛЯ БЕТАНИНА
В ПРОИЗВОДСТВЕ КОСМЕТИЧЕСКОЙ ПРОДУКЦИИ**

Аннотация. В статье представлены результаты определения уровней содержания беталаинов в корнеплодах свеклы различных сортов и гибридов, районированных на территории Республики Беларусь (бетацианины в интервале от 50,3 до 607,9 мг/100 г СВ, а бетаксантины — от 12,58 до 251,21 мг/100 г СВ), а также выполнена экспериментальная оценка возможности применения концентрированного свекольного сока в качестве натурального красителя для косметической продукции. При подготовке лабораторных исследований проанализированы данные о применении синтетических и натуральных красителей при производстве косметических средств, а также требования законодательных и технических нормативных правовых актов в части регулирования данного вопроса.

Приведенные в статье результаты исследований органолептических (внешний вид, запах, кроющая способность и текстура) и физико-химических (рН, устойчивость пены и термостабильность) характеристик косметической продукции с добавлением натурального красителя бетанина подтвердили соответствие опытных образцов установленным требованиям.

Ключевые слова: корнеплоды свеклы, бетанин, натуральный краситель, косметические средства, опытные образцы, органолептические и физико-химические показатели.

**T. M. Shachek, L. N. Protasenya,
E. N. Zelenkova***Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus***APPLICATIONS OF PLANT-DERIVED COLORANT BETANIN
IN THE COLORATION OF COSMETICS**

Annotation. The results of determining the levels of betalains in the beetroot cultivars and hybrids grown in Belarus (betacyanins ranging from 50.3 to 607.9 mg/100 g DW, and betaxanthins from 12.58 to 251.21 mg/100 g DW) are given in the article, and experimentally established the possibility of using concentrated beetroot juice as a natural colorant for cosmetic products. When preparing laboratory studies, data on the use of synthetic and natural colorants in the production of cosmetics were analyzed, as well as the requirements of legislative and technical regulations in this area.

The results of organoleptic (external odour, covering power and texture) and physicochemical (pH, foam effect and thermal stability) analysis of cosmetic products with the addition of natural colorant betanin confirmed the compliance of the test samples with the established requirements.

Keywords: beetroot, betanin, plant-derived colorant, cosmetics, test samples, organoleptic and physicochemical parameters.

Введение. Республика Беларусь как страна-участница ООН имеет ряд целей устойчивого развития. Двенадцатой из них является обеспечение перехода к рациональным моделям потребления и производства [1]. Применительно к косметической продукции данная цель может быть достигнута выполнением требований, содержащихся в Решении Европейского Парламента и Совета Европейского союза 1223/2009 «Косметическая продукция» [2], ТР ТС 009/2011 «О безопасности парфюмерно-косметической продукции», международных стандартах серии ISO 14000, ГОСТ ISO 22716–2013, COSMOS 3.1 [3], которые способствуют:

- ♦ защите жизни, здоровья и наследственности человека, имущества и охране окружающей среды;

- ♦ распространению полезных, пригодных к использованию, экономически-выгодных, систематизированных, гибких и приспособляемых под деятельность различных организаций инструментов;
- ♦ предоставлению руководящих указаний для производства, контроля, хранения и отправки косметических продуктов;
- ♦ использованию продуктов органического сельского хозяйства и уважению биоразнообразия;
- ♦ ответственному использованию природных ресурсов и уважению к окружающей среде;
- ♦ использованию обработки и производства, которые являются чистыми и уважительными для здоровья человека и окружающей среды;
- ♦ интеграции и развитию концепции «зеленой химии» и др.

В сегментах парфюмерно-косметического производства существует высокая конкуренция, что вынуждает производителей разрабатывать новые виды продукции, совершенствовать характеристики выпускаемых средств, дизайн упаковки для увеличения объема продаж. Усилению конкуренции при этом способствует увеличение потребительского спроса на новые виды продукции, рост компетентности потребителей. В связи с этим важными понятиями становятся «натуральная» и «органическая» косметика. Данные термины содержит стандарт COSMOS 3.1 [3], их различия состоят в том, что органическими продуктами считаются те, которые содержат от 95 % ингредиентов растительного происхождения, натуральными — содержащие только натуральные ингредиенты, часть из которых органического происхождения.

Анализ информации об отечественных и зарубежных производителях парфюмерно-косметической продукции [4–12] показывает, что существует стремление к применению натурального сырья растительного происхождения, применения методов контроля качества косметической продукции, не предусматривающих жестокое обращение с животными, организации безопасного для окружающей среды производства. В рамках поддержания данной тенденции, а также для содействия использованию продуктов органического сельского хозяйства, целесообразным является рассмотрение возможности применения натуральных красителей в производстве косметической продукции.

В ходе своего развития человек, наблюдая за природой, окружающим цветным миром, учился отбирать сырье, содержащее красящие вещества, извлекать их и использовать для бытовых, культовых, защитных, эстетических нужд. Постепенно, потребность в красящих веществах росла. Вместе с этим увеличивался масштаб, совершенствовались способы их получения. Со второй половины XVIII века было совершено множество открытий в области органической химии, таких как получение Вульфом пикриновой кислоты из азотной кислоты и индиго, окрашивание ей шелка в ярко-желтые тона (1771 г.), а также получение пикриновой кислоты из фенола Лораном 1842 г. В 1856 г. Перкин открыл мовеин, первый синтетический краситель, использованный для практического крашения [13, 14].

Постепенно к началу XX в. природные красящие вещества были почти полностью вытеснены синтетическими [15]. В 1924 г. Color Index — международная организация, область деятельности которой включает сбор информации о производимых красителях, разработку их номенклатуры и распространение данной информации, опубликовала информацию о порядка 1200 наименований синтезированных красителей, в 1952 — порядка 1500. В настоящее время в номенклатуру Color Index входит порядка 34 тысяч названий красителей.

Несмотря на широкое применение синтетических красителей и их достоинства:

- ♦ синтез нацелен на получение продукции с заранее заданными свойствами;
- ♦ широкий спектр цветов, отличающихся яркостью и высокой устойчивостью;
- ♦ возможность окрашивания всех видов природных и синтетических материалов, следует отметить и их недостатки, все более актуальные в последние годы:
- ♦ токсичность производства (условия труда, выбросы в атмосферу и стоки);
- ♦ токсичность некоторых классов красителей, не позволяющих их использовать для колорирования материалов, контактирующих с кожей человека;
- ♦ неспособность биологически разлагаться, что осложняет очистку сточных вод и утилизацию готовой окрашенной продукции [13, 16].

Все вышесказанное существенно влияет на выбор в пользу натуральных красителей, особенно в таких областях, как пищевая промышленность и производство косметической продукции. Из перечня достоинств натуральных красителей можно выделить:

- ♦ разнообразие сырьевой базы: минералы, растения, животные, бактерии;
- ♦ простота извлечения из природного сырья;
- ♦ биологическая активность и разлагаемость, наличие некоторых лечебных свойств.

Исходя из растительных ресурсов Республики Беларусь наибольший интерес среди различных групп натуральных красителей — каротиноиды, нафтохиноны, антрахиноны, антоцианы, танины, — следует выделить индигоиды, включающие беталаины.

Беталаины — красители, которые преимущественно содержатся в организмах растительного происхождения. Их название произошло от латинского названия свеклы обыкновенной — *Beta vulgaris* L., где они были обнаружены впервые. Долгое время столовая свекла считалась уникальным их источником. Наиболее известными источниками беталаинов являются корни красной свеклы (*Beta vulgaris* L.), зернистый или листовой амарант, плоды кактусов опунции, евlichнии, гилоцериуса. Менее распространенными источниками являются клубни улюко и ягоды ривины. В семействе портулаковых беталаины были зарегистрированы в обыкновенной портулайне и талинуме треугольном. Грибы родов мухоморы такие, как мухомор красный, гигроциба и гигрофор также содержат беталаины [17].

Красная свекла (*Beta vulgaris* L.) содержит два основных беталаиновых красителя: бетацианин — красный краситель — бетанин и бетаксантин — желтый краситель — вульгаксантин I. Химическое строение бетанина представлено на рис. 1.

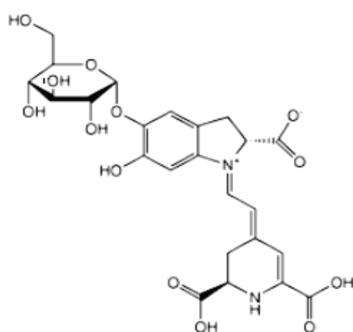


Рис. 1. Химическое строение бетанина, $C_{24}H_{27}N_2O_{13}$
Fig. 1. Chemical structure of betanin, $C_{24}H_{27}N_2O_{13}$

Кроме бетанина — наиболее распространенного из бетацианинов — красная свекла содержит и другие их представители: изобетанин, беталамовую кислоту, необетанин, 2-декарбокسي-необетанин, 2,17-бидекарбони-бетанин-изобетанин, 17-декарбокسي-необетанин, 6'-0-ферулоилбетанин-6'-0-ферулоилизобетанин. Представителями бетаксантинов являются вульгаксантин I и мираксантин V. Концентрация беталаинов в столовой свекле составляет 20–210 мг/100 г, бетацианины составляют примерно 75–95 % пигментов свеклы, остальные 5–25 % — бетаксантины [17].

Бетанин — пищевая добавка Е 162, обладает антиоксидантными, противораковыми и антимикробными свойствами, гипогликемическими, гиполипидемическими свойствами, усиливает дыхательные процессы, улучшает работу печени. При употреблении в пищу быстро всасывается в желудочно-кишечном тракте [17, 18].

Согласно ТР ТС 009/2011 «О безопасности парфюмерно-косметической продукции» использование добавки Е 162 разрешено без ограничений. Учитывая вышесказанное, актуальным является оценка характеристик косметической продукции с добавлением натурального красителя из свеклы — бетанина, что и было целью данной работы. Для достижения поставленной цели выполнены следующие задачи:

- ♦ определены уровни содержания красителя в сортах и гибридах столовой свеклы, районированных на территории Республики Беларусь;
- ♦ изготовлены опытные образцы (в лабораторных условиях) косметических средств с добавлением натурального красителя;
- ♦ оценены органолептические и физико-химические характеристики качества опытных образцов косметических средств с добавлением натурального красителя.

Результаты исследований и их обсуждение. Объектами исследования при оценке уровней содержания беталаинов в сырье были корнеплоды столовой свеклы сортов Веста, Гаспадыня, Прыгажуня, Слава, гибридов №33/5 и 15/3 РС урожая 2022 г. Содержание беталаинов определяли в октябре и декабре 2022 г.

Сущность метода количественного определения беталаинов состоит в фотометрическом определении оптической плотности раствора, содержащего беталаины, предварительно экс-

трагированных 2 % раствором муравьиной кислоты, при 535 нм и 469 нм для бетацианинов и бетаксантинов соответственно. Порядок исследования указан в табл. 1.

Таблица 1. Алгоритм определения содержания беталаинов в пробах свеклы
Table 1. Algorithm for determining the content of betalains in beet samples

Этап исследования	Перечень операций
1 Пробоподготовка	1.1 Измельчение свеклы до состояния мезги на мелкой терке
	1.2 Отбор пробы массой 1,000 г
	1.3 Перенос взвешенной пробы в фарфоровую ступку
2 Приготовление раствора экстрагента	2.1 Отбор аликвоты НСООН, 99 % — 20,2 см ³ в мерную колбу на 1000 см ³
	2.2 Доведение до метки (1000 см ³) дистиллированной водой
3 Экстракция беталаинов	3.1 Измельчение пробы под слоем экстрагента пестиком
	3.2 Слив экстракта через фильтр
	3.3 Повторение пп. 3.1–3.2 до обесцвечивания мезги
4 Приготовление раствора беталаинов	4.1 Измерение общего объема полученного экстракта, пошедшего на обесцвечивание мезги
	4.2 Перенос общего объема полученного экстракта в мерную колбу на 50 см ³
	4.3 Доведение до метки раствором НСООН
5 Измерение оптической плотности раствора беталаинов	5.1 Наполнение кювет раствором экстракта
	5.2 Измерение оптической плотности при 469 нм и 535 нм
	5.3 Выполнение трех параллельных измерений
6 Определение массовой доли сухих веществ	6.1 Взвешивание пустых бюкс
	6.2 Взвешивание бюкс с мезгой (m~5,00 г)
	6.3 Высушивание открытых бюкс в сушильном шкафу до постоянной массы при t= (105 ± 2) °С

Исследование содержания беталаинов выполняли согласно [19]. Суммарное содержание бетацианинов, α_1 (мг/г), определяли (в пересчете на бетанин), используя коэффициент молярного погашения $\epsilon=60000$ при $\lambda_{\max}=535$ нм по формуле

$$\alpha_1 = \frac{A(535 \text{ нм})}{\epsilon_1(535 \text{ нм}) \cdot l} \cdot \frac{V \cdot M \cdot 1000}{1000 \cdot m},$$

где $A(535 \text{ нм})$ — оптическая плотность раствора в максимуме абсорбции бетацианинов; $\epsilon_1(535 \text{ нм})$ — коэффициент молярного погашения бетацианинов при 535 нм; l — длина оптического пути, см; V — объем экстракта, мл; M — молярная масса бетанина, 550 г/моль; m — масса навески, г.

Для количественного определения бетаксантинов, α_2 (мг/г), в пересчете на вульгаксантин I с коэффициентом молярного погашения $=48000$, использовали абсорбцию экстракта на двух длинах волн по формуле, учитывающей остаточное поглощение бетаксантинов при $\lambda_{\max}=469$ нм

$$\alpha_2 = \frac{A(469 \text{ нм}) - k \cdot A(535 \text{ нм})}{\epsilon_2(469 \text{ нм}) \cdot l} \cdot \frac{V \cdot M \cdot 1000}{1000 \cdot m},$$

где $A(469 \text{ нм})$ — оптическая плотность раствора в максимуме абсорбции бетаксантинов; k — коэффициент пересчета; $\epsilon_2(469 \text{ нм})$ — коэффициент молярного погашения бетацианинов при 469 нм; M — молярная масса вульгаксантина I, 339 г/моль.

Коэффициент пересчета k определяли из соотношения

$$k = \frac{\epsilon_1(535 \text{ нм})}{\epsilon_2(469 \text{ нм})}.$$

Определение количества сухих веществ выполняли методом высушивания до постоянной массы в соответствии с ГОСТ 28561–90. Данные о массовой доле сухих веществ использовали для пересчета содержания беталаинов α_1 , α_2 на абсолютно сухое вещество (в мг/100 г):

$$\alpha_i^{CB} = \frac{\alpha_i \cdot 100 \cdot 100}{X_1},$$

где α_i^{CB} — концентрация бетаинов (бетацианинов или бетаксантинов), мг/100 г СВ; α_i — концентрация бетаинов (бетацианинов или бетаксантинов), мг/г; X_1 — массовая доля сухих веществ, %; 100 — коэффициент пересчета на 100 г; 100 — коэффициент перехода от процентов к абсолютным значениям.

Полученные экспериментальные данные были проверены на выбросы по критерию Диксона [20].

Результаты исследований и их обсуждение. Концентрация бетаинов (на абсолютно сухое вещество) в исследуемых пробах корнеплодов столовой свеклы представлена на рис. 2 и 3.

Согласно рис. 2 в образцах корнеплодов, отобранных сразу после сбора урожая (октябрь), бетацианины были обнаружены в интервале от 124,9 до 607,9 мг/100 г СВ, а бетаксантины — от 26,12 до 251,21 мг/100 г СВ. Доля бетацианинов в общем содержании бетаинов варьировала в диапазоне 70,1–82,7%. Наибольшая концентрация бетацианинов была обнаружена в образцах корнеплодов следующих сортов: Прыгажуня — 607,9 мг/100 г СВ, Слава — 526,9 мг/100 г СВ и Веста — 514,8 мг/100 г СВ.

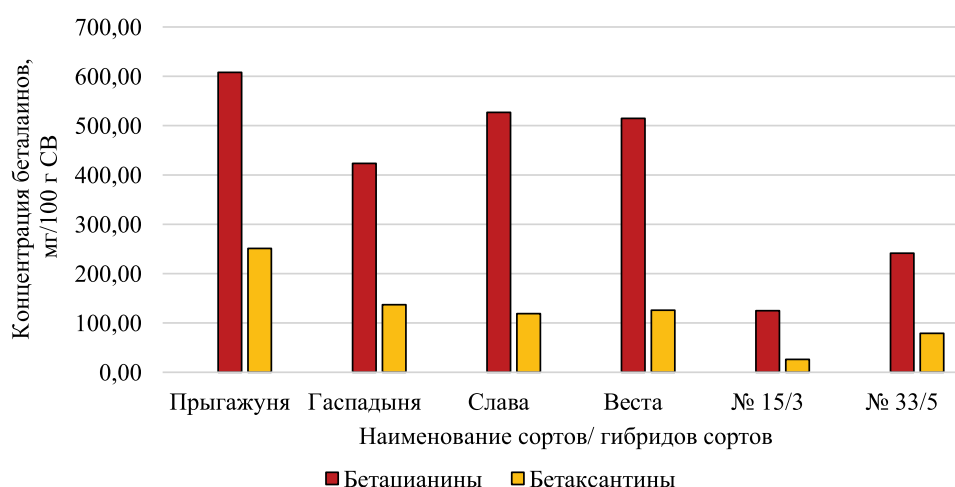


Рис. 2. Содержание бетаинов в корнеплодах столовой свеклы (октябрь)

Fig. 2. The content of betalains in the beet roots (October)

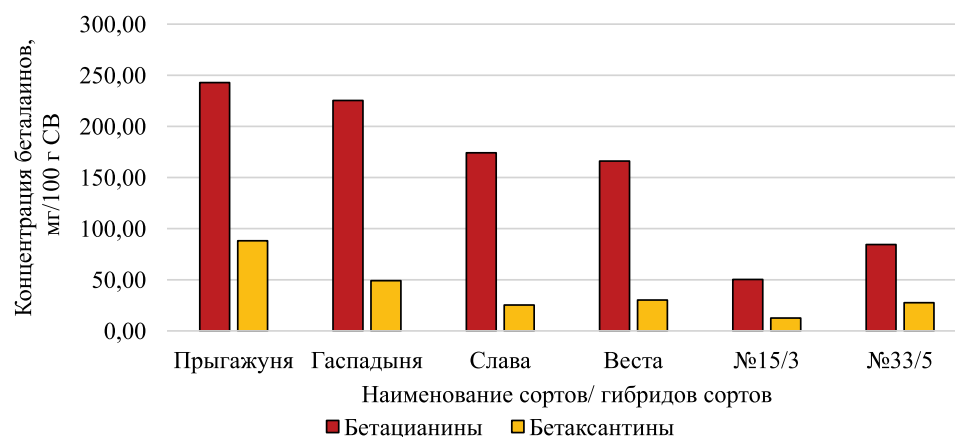


Рис. 3. Содержание бетаинов в корнеплодах столовой свеклы (декабрь)

Fig. 3. The content of betalains in the beet roots (December)

Из данных, представленных на рис. 3 следует, что концентрация бетацианинов в корнеплодах свеклы столовой разных сортов, отобранных для исследований в декабре, изменялась от 50,3 до 242,9 мг/100 г СВ, а бетаксантинов — от 12,58 до 88,1 мг/100 г СВ, что в среднем было меньше в 2,6 и 2,9 раза соответственно относительно результатов, полученных в октябре. Доля бетацианинов составляла 73,4–87,3% от общего содержания бетаинов. К сортам

с наибольшим уровнем бетацианинов в данный период были отнесены: Прыгажуня — 242,86 мг/100 г СВ, Гаспадыня — 225,32 мг/100 г СВ, Слава — 174,22 мг/100 г СВ.

Из полученных экспериментальных данных можно заключить, что содержание бетацианинов преобладает в общем количестве беталаинов и подвержено изменению с тенденцией к уменьшению в процессе хранения корнеплодов. Результаты определения бетацианинов в исследуемых образцах столовой свеклы согласуются с данными других исследователей в части общей концентрации беталаинов и каждой из групп их представителей (бетацианинов и бетаксантинов) для сортов свеклы, выращиваемых в разных регионах [17, 19, 21, 22].

Далее исследуемые корнеплоды столовой свеклы использовали для получения концентрированного сока, который впоследствии добавляли в базовую косметическую продукцию (табл. 2) в качестве натурального красителя. Экспериментальные исследования включали этапы, приведенные на рис. 4.

Объектами исследования на данном этапе работ являлись образцы геля гигиенического и крема косметического, содержащие добавку бетанина в виде концентрированного свекольного сока, а также базовая косметическая продукция.

Таблица 2. Информация о базовой косметической продукции
Table 2. Information about cosmetic products taken as a basis

Наименование косметической продукции	Крем-гель для душа	Крем питательный для рук и ногтей
Номинальное количество	500 мл	75 г
Дата изготовления	04.01.2023	28.11.2022
Срок годности	36 месяцев с даты изготовления	24 месяца с даты изготовления
Условия хранения	от +5 до +35 °С	от +5 до +25 °С
Состав	Вода, натрия лаурета сульфат, кокамид дэа, натрия хлорид, декилглюсс, глицерил кокоат, поликватерниум-7, парфюм, лимонная кислота, динатрий ЭДТА, спирт, метил-хлоризотиазолинон, масло семян олеиферы	Вода, оливковое масло, воск Emmuls VI, глицерин, декспантенол, экстракт календулы, атоптоин, стеариновая кислота, бензиловый спирт, триэтаноитир, сорбат калия, ксантановая камедь, ВНТ (бутилди-гидрокситолуол), отдушка

Требования к гелям для душа установлены ГОСТ 31696–2012 «Продукция косметическая гигиеническая моющая. Общие технические условия», к кремам — ГОСТ 31460–2012 «Кремы косметические. Общие технические условия».

Образцы косметических средств готовили следующим образом:

- ♦ в пробирку переносили базовое косметическое средство и определяли его объем;
- ♦ рассчитывали объем концентрированного свекольного сока, который требуется добавить для получения необходимой окраски образца косметического средства;
- ♦ добавляли рассчитанное количество концентрированного свекольного сока и перемешивали стеклянной палочкой до однородного окрашивания образца косметической продукции.

Для идентификации экспериментальных образцов им были присвоены соответствующие обозначения (табл. 3).

В рамках работы был проведен опрос потенциальных потребителей крема для рук и геля для душа с добавлением бетанина (лица возрастной категории 19–21 год в количестве 38 человек) с целью установления наиболее предпочтительных по цвету экспериментальных образцов. В выбранных на данном этапе образцах определяли: внешний вид, кроющую способность и текстуру, запах по разработанным бальным шкалам. В качестве примера такая бальная шкала (для крема косметического) представлена в табл. 4.

В состав команды экспертов, оценивающих экспериментальные образцы, вошли два специалиста по сенсорному анализу из числа профессорско-преподавательского состава кафедры физико-химических методов и обеспечения качества, а также обученный сенсорной оценке магистрант первого года обучения факультета технологии органических веществ БГТУ. Участники команды экспертов вносили оценки экспериментальных образцов в анкету по форме, представленной в табл. 5.



Рис. 4. План экспериментальных исследований

Fig. 4. Plan of experimental studies

Таблица 3. Идентификация экспериментальных образцов косметической продукции

Table 3. Identification of experimental samples of cosmetics

Наименование косметической продукции	Содержание концентрированного свекольного сока, %	Обозначение образца (k)
Гель для душа	25,0	Г1
	20,0	Г2
	15,0	Г3
	10,0	Г4
	5,0	Г5
	2,5	Г6
	2,0	Г7
	1,5	Г8
	1,0	Г9
	0,5	Г10
Крем косметический	20,0	К1
	10,0	К2
	5,0	К3
	3,0	К4
	1,0	К5

Таблица 4. Бальная шкала оценки образцов косметического крема
Table 4. Point scale for evaluating samples of cosmetic cream

Показатель	Количество баллов				
	5	4	3	2	1
Внешний вид	Однородная тактильно средней плотности гелеобразная масса без посторонних включений	Однородная тактильно легкой плотности гелеобразная масса без посторонних включений	Неоднородная тактильно легкой плотности гелеобразная масса без посторонних включений	Расслаивающаяся тактильно легкой плотности гелеобразная масса без посторонних включений	Расслаивающаяся тактильно легкой плотности гелеобразная масса с посторонними включениями. Окрашивает кожу
Запах	Характерный отдушке в креме, приятный, без постороннего запаха	Характерный отдушке в креме, менее ощущаемый, без постороннего запаха	Характерный отдушке, используемой в креме, легкий запах свежести	Характерный отдушке, используемой в креме, слабый запах свежести	Отчетливый свежий запах
Кроющая способность и текстура	Гладкая, однородная, шелковистая, покрывает кожу ровным слоем, быстро впитывается, не окрашивает кожу	Гладкая, но более жидкая, однородная, покрывает кожу ровным слоем, быстро впитывается, не окрашивает кожу	Неоднородная, с вкраплениями более твердых частиц, быстро впитывается, не окрашивает кожу	Рыхлая, неоднородная, слегка окрашивает кожу	Рыхлая, жидкая, неоднородная, окрашивает кожу

Таблица 5. Анкета сенсорной оценки
Table 5. Sensory evaluation questionnaire

Обозначение образца	Органолептические показатели (j) образцов геля для душа и крема для рук, балл		
	внешний вид	кроющая способность	запах
Г6	*	*	*
Г8	*	*	*
Г9	*	*	*
К1	*	*	*
К5	*	*	*

Примечание — Символом «*» обозначено место выставления оценки.

Итоговые оценки j показателя каждого исследуемого k образца O_{ij}^k , балл, рассчитывали по следующей формуле

$$O_{ij}^k = \sum_{i=1}^{n=3} (O_{ij}^k \cdot v_i),$$

где O_{ij}^k — оценка j показателя k образца i эксперта, балл; v_i — весовой коэффициент оценки j показателя i эксперта, равны соответственно 0,33; 0,33; 0,34.

Итоговую оценку k образца O_i^k , балл, рассчитывали по следующей формуле

$$O_i^k = \sum_{j=1}^{n=3} (O_{ij}^k \cdot v_j),$$

где v_j — весовой коэффициент итоговой оценки j показателя экспертной группой, равны соответственно 0,33; 0,33; 0,34.

Далее, в отобранных экспериментальных образцах косметической продукции определяли физико-химические характеристики:

- ♦ pH — в образцах геля гигиенического и крема косметического по ГОСТ 29188.2–2014;
- ♦ устойчивость пены — в образцах геля гигиенического по ГОСТ 22567.1–77.
- ♦ термостабильность — в образцах крема косметического по ГОСТ 29188.3–91.

Результаты опроса потенциальных потребителей крема для рук и геля гигиенического с добавлением бетанина с целью установления их цветовых предпочтений представлены в табл. 6.

Таблица 6. Результаты опроса потенциальных потребителей
Table 6. Results of a survey of potential consumers

Обозначение образца	Количество опрошиваемых, выбравших данный образец	Обозначение образца	Количество опрошиваемых, выбравших данный образец
Г1	2	Г8	9
Г2	2	Г9	6
Г3	1	Г10	3
Г4	1	К1	4
Г6	5	К2	1
Г7	2	К5	3

Примечание — Экспериментальные образцы, не выбранные опрошиваемыми не представлены в данной таблице

Из данных опроса, представленного в табл. 6, видно, что показал, что потенциальные потребители выбрали следующие образцы продукции с соответствующим содержанием натурального красителя — концентрированный свекольный сок:

геля гигиенического: Г6 — гранатовый цвет (2,5 %), Г8 — светло-розовый цвет (1,5 %), Г9 — бледно-розовый цвет (1,0 %);

крема косметического: К1 — насыщенный красный цвет (20,0 %), К5 — бледно-розовый цвет (1,0 %).

Следовательно, вышеуказанные образцы были допущены к сенсорной оценке, а также исследованию их физико-химических характеристик. Результаты сенсорной оценки экспертной группы представлены в табл. 7.

Таблица 7. Результаты сенсорной оценки образцов косметической продукции
Table 7. The results of the sensory evaluation of cosmetic products samples

Показатель	Обозначения образцов				
	Г6	Г8	Г9	К1	К5
Внешний вид	4	4	4	3	4
Кроющая способность и текстура	4	4	4	3	3
Запах	5	4	5	5	4
Итоговая оценка	4	4	4	4	4

Экспертная сенсорная оценка образцов косметической продукции с добавлением красителя бетанина показала следующее:

- ♦ образец геля гигиенического Г6 имел гладкую поверхность, с пузырьками воздуха, без посторонних включений, равномерно окрашенную, обладал запахом, характерным отдушке базовой косметической продукции, без посторонних запахов, свежим, гармоничным, его текстура была гладкая, но более жидкая, однородная, покрывала кожу ровным слоем, не окрашивала кожу;

- ♦ образец геля гигиенического Г8 характеризовался однородной тактильно легкой плотности гелеобразной массой без посторонних включений, обладал запахом, характерным отдушке в геле, менее ощущаемым, без постороннего запаха, его текстура была гладкая, но более жидкая, однородная, покрывала кожу ровным слоем, не окрашивала кожу;

- ♦ образец геля гигиенического Г9 имел гладкую поверхность, с пузырьками воздуха, без посторонних включений, равномерно окрашенную, обладал запахом, характерным отдушке базовой косметической продукции, используемой в геле, без посторонних запахов, свежим, гармоничным, его текстура была гладкая, но более жидкая, однородная, покрывала кожу ровным слоем, не окрашивала ее;

- ♦ образец крема косметического К1 представлял собой неоднородную тактильно легкой плотности гелеобразную массу без посторонних включений с характерным отдушке базового крема запахом, приятным, без постороннего запаха, его кроющая способность характеризовалась, как неоднородная, быстро впитывалась, не окрашивала кожу, текстура имела вкрапления более твердых частиц;

♦ образец крема косметического К5 представлял однородную тактильно легкой плотности гелеобразную массу без посторонних включений с характерным отдушке базового крема запахом, его кроющая способность характеризовалась, как неоднородная, быстро впитывалась, не окрашивала кожу, текстура имела вкрапления более твердых частиц.

Таким образом, существенных несоответствий в части органолептических характеристик в экспериментальных образцах обнаружено не было.

Результаты измерений pH в образцах косметических средств, представленные в табл. 8, указывают на то, что опытные образцы с внесенными добавками концентрированного свекольного сока соответствовали требованиям ТНПА на данный вид продукции.

Таблица 8. Данные измерения pH образцов косметических средств
Table 8. pH measurement data of cosmetic samples

Обозначение образца	Результат измерения pH, ед.		г, ед., не более	pH _{ср} , ед.	Граница допустимых значений pH, ед.	
	1	2			нижняя	верхняя
K0*	6,87	6,94	0,1	6,9	5,0	8,5
	6,91	6,93				
K1	7,49	7,46		7,4		
	7,41	7,43				
K5	7,13	7,18		7,1		
	7,09	7,18				
Г0*	6,77	6,83	0,1	6,8	5,0	9,5
	6,84	6,81				
Г6	5,85	5,93		5,9		
	5,94	5,95				
Г8	6,06	6,14		6,1		
	6,10	6,11				
Г9	6,34	6,28		6,3		
	6.39	6.31				

Примечание — K0 — базовый образец крема косметического; Г0 — базовый образец геля для душа

Данные определения характеристики — устойчивость пены для образцов геля гигиенического, приведенные в табл. 9, свидетельствовали об ее изменении в интервале от 1,55 до 1,57, что также входило в допустимые пределы согласно ГОСТ 31696–2012 — не менее 0,8. По показателю термостабильность (для кремов косметических) все экспериментальные образцы прошли испытание, так как расслоение образцов после термообработки отсутствовало — толщина слоя жидкости над поверхностью образцов составляла менее 0,5 см.

Таблица 9. Устойчивость пены образцов геля гигиенического
Table 9. Foam stability of hygienic gel samples

Объект измерения	Высота столба пены ¹ , мм		Предел повторяемости г _{нзм} , мм	Высота столба пены ² , мм		Устойчивость пены, ед.	
	H ₀	H ₅		H ₀	H ₅	измеренная	средняя
Г6	215,00	345,00	10,00	232,54	373,15	1,60	1,56
	220,00	335,00		237,95	362,34	1,52	
	220,00	340,00		237,95	367,74	1,55	
Г8	220,00	340,00	10,00	237,95	367,74	1,55	1,57
	220,00	345,00		237,95	373,15	1,57	
	215,00	345,00		232,54	373,15	1,60	
Г9	215,00	340,00		232,54	367,74	1,58	1,55
	215,00	335,00		232,54	362,34	1,56	
	220,00	335,00		237,95	362,34	1,52	
Г0	220,00	350,00		237,95	378,56	1,59	1,57
	220,00	340,00		237,95	367,74	1,55	
	220,00	345,00		237,95	373,15	1,57	

Примечание. 1 — результаты измерений через 30 сек; 2 — результаты измерений через 5 мин.

Заключение. На основании проведенных экспериментальных исследований по оценке возможности применения концентрированного свекольного сока для окрашивания косметической продукции можно заключить следующее:

- ♦ промышленную переработку корнеплодов столовой свеклы ботанических сортов Прыгажуня, Слава, Веста, Гаспадыня, характеризующихся наибольшим уровнем содержания беталаинов, с целью получения натурального красителя целесообразно осуществлять сразу после сбора урожая;
- ♦ с целью удовлетворения цветовых предпочтений потребителей добавление натурального красителя рекомендуется в диапазоне 1,0–2,5 % — для гелей гигиенических и 1,0–20,0 % — для кремов косметических;
- ♦ экспериментальные образцы геля гигиенического и крема косметического с добавкой бетанина соответствовали требованиям к внешнему виду, запаху, pH, устойчивости пены, термостабильности, установленным в ТНПА на продукцию.

Таким образом, полученные данные о характеристиках экспериментальных образцов геля гигиенического и крема косметического с добавлением концентрированного свекольного сока могут быть использованы специалистами предприятий отрасли при разработке рецептур новых видов продукции.

Список использованных источников

1. Цель 12: Ответственное потребление и производство. Цели устойчивого развития в Беларуси [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://sdgs.by/targets/target12/> — Дата доступа: 07.06.2023.
2. Косметическая продукция. Решение Европейского Парламента и Совета Европейского союза 1223/2009. — Введ. 30.11.2009. — Брюссель: Европейский парламент и Совет Европейского Союза, 2009. — 32с.
3. COSMOS-standard. Cosmetics Organic and Natural Standard: COSMOS 3.1. — Введ. 01.06.2020. — Брюссель: COSMOS AISBL, 2020. — 46 с.
4. Каталог товаров. Компания «Белита-Витэкс-Брест» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://belita-brest.by/katalog-kosmetiki/>. — Дата доступа: 07.06.2023.
5. Каталог средств по уходу за руками. Компания «Марта» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.marta.by/produkty/kosmetika/krem-dlya-ruk>. — Дата доступа: 07.06.2023.
6. Продукция по уходу для рук и ног. Компания «КлинКосмик» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.selfielab.by/catalog/dlya-ruk>. — Дата доступа: 08.05.2023.
7. Средства по уходу за телом. Компания «EVA-MOSAIC» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.eva-mosaic.ru/telo> — Дата доступа: 08.06.2023.
8. Surowce dla przemysłu kosmetycznego. Firma «Grupa Popławska» [Zasoby elektroniczne]. Tryb dostępu: <https://www.poplawskagroup.pl/surowce-kosmetyczne/> — Data dostępu: 08.06.2023.
9. Kremlin. Şirket «Cyrène Cosmetics» [Elektronik kaynak]. Erişim modu: <https://thepurestsolutions.com/eu/kremler> — Erişim tarihi: 08.06.2023.
10. Marques. Entreprise «Garnier» [Ressource électronique]. Mode d'accès: <https://www.garnier.fr/> — Date d'accès: 08.06.2023.
11. Alle Serien. Firma «Biodroga» [Elektronische Ressource]. Zugriffsmodus: <https://www.biodroga.com/de/produktlinien/> — Zugriffsdatum: 08.06.2023.
12. Catálogo de productos para el cuidado del cuerpo «Cosmonou» [Recurso electrónico]. Modo de acceso: <https://cosmonou.com/> — Fecha de acceso: 08.06.2023.
13. Самуйлова, М. В. Основы косметической химии. Функциональные ингредиенты и биологически активные вещества / М. В. Самуйлова, Т. В. Пучкова. — М: Школа косметических химиков, 2017. — 642 с.
14. Венкатараман, К. Химия синтетических красителей: в 6 т. / К. Венкатараман. — Ленинград: Госхимиздат. Ленингр. отд-ние, 1956-1977. — Т. 1: Химия синтетических красителей/ Пер. М. С. Динабурга [и др.]; под ред. проф. Б. А. Порай-Кошица. — 1956. — 803 с.
15. Справочник Color Index. Портал американской ассоциации текстильных химиков и колористов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://colour-index.com/> — Дата доступа: 18.12.2022.
16. Возрождение природных красителей. Портал Общероссийской общественной организации «Нанотехнологическое общество России». [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://rusnor.org/pubs/library/14714>. — Дата доступа: 27.12.2022.
17. Свойства и применение природных беталаиновых красителей / Ю. В. Устинова и [др.] // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК — продукты здорового питания. Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ. — 2021. — №4. — С. 72–79.
18. Влияние температуры и pH среды на беталаиновые пигменты свеклы обыкновенной / О. Л. Соломатин // Научно-практический журнал для студентов и молодых ученых «Forcipe». — 2021. — Т. 4, спецвыпуск — С. 481.

19. Бетаинины корнеплодов красной столовой свеклы / И. И. Саенко и [др.] // Научные ведомости. Серия Естественные науки. — 2012. — №3. — С. 194–201.
20. Определение грубых экспериментальных ошибок методом Диксона: материалы XXV всероссийский аспирантско-магистерский научный семинар, посвященный дню энергетика, Казань, 07–08 дек. 2021 г./ Казан. гос. энерг. ун-т; редкол.: Э.Ю. Абдуллазянова (отв. ред.) — Казань, 2022. — 418 с.
21. Использование свеклы столовой при производстве соусов для общественного питания / С. Ю. Глебова и [др.] // Пищевые ингредиенты: сырье и добавки. — 2017. — №10. — С. 40–42.
22. Исследование качества, безопасности и состава биологически активных веществ столовой свеклы / Е. Ю. Гораш и [др.] // Научный журнал КубГАУ. — 2015. — №113(09). — С. 1–11.

Информация об авторах

Шачек Татьяна Михайловна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры физико-химических методов и обеспечения качества учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: shachek@tut.by

Протасеня Леонтий Николаевич, студент, учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: l.protasenya09@mail.ru

Зеленкова Елена Николаевна, доцент кафедры физико-химических методов и обеспечения качества учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет» (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: elena.taras@mail.ru

Information about authors

Shachek Tatyana Mikhaylovna, PhD (Technical), associate professor, associate professor, Department of Physical-Chemical Methods and Quality Assurance of the Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: shachek@tut.by

Protasenya Leonty Nikolaevich, student Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: l.protasenya09@mail.ru

Zelenkova Elena Nikolaevna, Ph D (Technical), assistant lecturer, Department of Physical-Chemical Methods and Quality Assurance of the Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: elena.taras@mail.ru

УДК 637.531.45;658.567

Поступила в редакцию 22.07.2023
Received 22.07.2023

**В. Я. Груданов, А. А. Бренч, А. Б. Торган, И. Е. Дацук, С. А. Зеленко,
М. Д. Агрошич**

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

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА И ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ТОНКОГО ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МЯСНОГО СЫРЬЯ НА ОСНОВЕ ОБОСНОВАНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ, КОНСТРУКТИВНЫХ И ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РЕЖУЩЕГО МЕХАНИЗМА ЭМУЛЬГАТОРА

Аннотация. Установлены существенные недостатки в конструкциях ножа и ножевых решетках, основные из которых сводятся к следующему: а) при уменьшении диаметра отверстий и увеличении их количества проходное (живое) сечение решетки уменьшается; б) ножевые решетки, входящие в стандартный комплект машины, имеют одинаковую толщину, что приводит к росту гидравлического сопротивления при уменьшении диаметра отверстий; в) в системе нож-решетка не используются законы скользящего резания.

Обоснованы геометрические параметры ножевых решеток, построена математическая модель, позволяющая через геометрические параметры одной решетки получать одинаковое проходное сечение решеток, входящих в стандартный комплект. Выполнен гидравлический расчет ножевых решеток, построена математическая модель, позволяющая получать равные между собой гидравлическое сопротивление всех решеток по линейным потерям давления.

Существенно улучшена конструкция трущейся пары нож-решетка, построена математическая модель, позволяющая использовать законы скользящего резания и определять оптимальную длину режущей кромки лезвия ножа в зависимости от ширины рабочей поверхности ножевой решетки.

Ключевые слова: эмульсатор, нож, ножевая решетка, пропускная способность, гидравлическое сопротивление, потери давления, законы скользящего резания, длина режущей кромки лезвия ножа, удельные энергозатраты, производительность.

**V. Ya. Grudanov, A. A. Brench, A. B. Torgan, I. E. Datsuk, S. A. Zelenko,
M. D. Atroshchik**

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

IMPROVING THE QUALITY AND EFFICIENCY OF THE BUSINESS PROGRESS OF THIN GRINDING OF RAW MEAT ON THE BASIS OF SUBSTANTIATION OF THE GEOMETRIC STRUCTURAL AND HYDRAULIC PARAMETERS OF THE CUTTING MECHANISM OF THE EMULSIFIER

Annotation. Significant shortcomings in the designs of the knife and knife gratings the main of which are as follows: with a decrease in the diameter of the holes and an increase in their number the passage the live cross-section of the lattice decreases; the knife gratings included in the standard set of the machine have the same thickness which leads to an increase in hydraulic resistance with a decrease in the diameter of the holes; in the knife-grid system, the laws of sliding cutting are not used.

The geometric parameters of the knife gratings are substantiated, a mathematical model is constructed that allows, through the geometrical parameters of one grating, to obtain the same flow area of the gratings included in the standard set. The hydraulic calculation of the knife gratings has been performed, a mathematical model has been built, which makes it possible to obtain equal hydraulic resistance of all gratings from linear pressure losses.

The design of the rubbing knife grating pair has been significantly improved a mathematical model has been built that allows using the laws of sliding cutting and determining the optimal length of the cutting edge of the knife blade depending on the width of the working surface of the knife grating.

Keywords: laws of sliding cutting, length of the cutting edge of the knife blade, specific energy words: emulsifier, knife, knife grid, throughput, hydraulic resistance, pressure consumption, productivity.

Введение. На мясоперерабатывающих предприятиях наибольшее применение нашли эмульсаторы немецкой фирмы KARL SHNELL, получившей всемирную известность в пищевой промышленности [1].

Машины этого немецкого машиностроительного предприятия отличаются традиционной надежностью и постоянными инновациями с целью разработки и создания экономичных аппаратов высокого качества, адаптированных к конкретным технологическим задачам. В настоящее время фирма KS концентрирует свою деятельность на производстве машин и установок для промышленной переработки мясoproductов, питания животных, деликатесных продуктов, изделий из плавленого сырья и кондитерских изделий.

Режущий механизм KS состоит из ножевой головки с 2-мя сменными лезвиями, вращающейся вместе с валом двигателя, и сменной измельчительной решетки, закрепленной неподвижно в режущем корпусе. Благодаря возможности осевой регулировки интервала между ножевыми вставками и измельчительной решеткой можно регулировать производительность, температуру и степень измельчения продукта.

Применяются также ножевые головки с 3-мя и 6-ю сменными лезвиями (вставками) [2,3,4,5,6].

Цель работы — повышение качества и эффективности процесса тонкого измельчения мясного сырья на основе совершенствования конструктивных, геометрических и гидравлических параметров режущих инструментов эмульсатора.

Предварительные сведения. В стандартной опции машины KS входят:

1) система резки: две ножевые головки (3 или 6 лучевые); три заменяемые решетки с диаметром отверстий от 0,5 до 18 мм; регулировочная гайка; двухлопастной выбрасыватель.

2. Микропроцессорное управление;

3. Контроль температуры продукта;

4. Откидная разгрузочная труба;

5. Отдельный пульт управления;

6. Откидная решетка на приемной воронке.

Дополнительно могут быть поставлены:

1. Коллоидная головка;

2. Металлоуловитель;

Технические данные эмульсаторов фирмы KARL SHNELL приведены в табл. 1.

Таблица 1. Технические данные эмульсаторов фирмы KS
Table 1. Technical data of KS emulsifiers

Модель эмульсатора	Диаметр режущего блока, мм	Объем воронки, л	Число оборотов, об/мин	Мощность двигателя, кВт	Производительность, кг/ч	Масса, кг
FD 225/100	225	165	2975	74	3500	960
FD 225/130	225	165	2960	95	4500	1020
FD 225/140	225	165	2950	107	5500	1050
FV 175/30	175	30	1450/2900	7,5/10	*	500
FV 175/100	175	100	1450/2900	7,5/10	*	950
FV 175/160	175	160	1450/2900	7,5/10	*	1150
F28/F46/F75/F100/KBFG	200/248/320	80-150	2880	21-74	1800-400	570-735
Настольный эмульсатор	86	30	5700	5,5	90-800	85
F/F18/F25	150/200	50	2880	7-18	800-1800	100-210

* — производительность зависит от вида сырья, степени измельчения и диаметра отверстий решеток.

Как видно из табл. 1, наружный диаметр ножевых решеток изменяется от 86 до 225 мм; диаметр отверстий перфорации ножевых решеток изменяется от 0,5 до 18 мм, а их количе-

ство — от 90 до 6000 шт., при этом ножевые головки могут иметь 2, 3 и 6 лезвий (вставок). Анализ конструкции режущего механизма фирмы KS и изучение опыта эксплуатации эмульсаторов этой фирмы на промышленных предприятиях, в частности, на Ошмянском мясокомбинате, свидетельствуют о наличии существенных недостатков в конструкции ножа и ножевых решеток, основные из которых сводятся к следующему:

- ♦ при уменьшении диаметра отверстий и увеличении их количества проходное (живое) сечение ножевой решетки уменьшается, что снижает производительность, ухудшает качество продукта и увеличивает удельные энергозатраты;

- ♦ ножевые решетки, входящие в стандартный комплект машины, имеют одинаковую толщину равную 10 мм, а это означает, что в процессе измельчения сырья каждая ножевая решетка имеет различное гидравлическое сопротивление, причем с уменьшением диаметра отверстий и увеличением их количества гидравлическое сопротивление решетки возрастает, что приводит к резкому увеличению энергозатрат вплоть до остановки машины.

Так, например, расчеты показывают:

- ♦ при диаметре отверстий $d_0 = 10$ мм в ножевой решетке с наружным диаметром $D_n = 200$ мм и количестве отверстий $Z_0 = 90$ коэффициент пропускной способности $K = 0,248$;

- ♦ при $d_0 = 5$ мм; $Z_0 = 362$ шт. и $D_n = 200$ мм; $K = 0,227$;

- ♦ при диаметре отверстий $d_0 = 1,2$ мм в ножевой решетке с наружным диаметром $D_n = 200$ мм и количестве отверстий $Z_0 = 5422$ шт., коэффициент пропускной способности $K = 0,195$.

Коэффициент пропускной способности характеризует степень использования рабочей площади ножевой решетки и определяется как отношение суммарной площади отверстий к общей площади ножевой решетки, т.е.

$$K = \frac{\Sigma f_0}{F_p} \text{ или, } K = \frac{\pi d_0^2 \cdot Z_0}{4 \cdot F_p} \quad (1)$$

где Σf_0 — площадь отверстий, мм²; Z_0 — количество отверстий, шт.; F_p — площадь ножевой решетки.

С другой стороны, техническая производительность машины определяется по формуле [7, 8, 9, 10].

$$Q_T = S \cdot v_0 \cdot \rho_0 \cdot \psi_0, \quad (2)$$

где Q_T — техническая производительность эмульсатора, кг/ч; S — площадь проходного (живого) сечения ножевой решетки, м²; v_0 — скорость продвижения сырья через отверстия ножевой решетки, м/с; ρ_0 — плотность сырья кг/м³; ψ_0 — коэффициент использования площади отверстий ножевой решетки ($\psi_0 = 0,8...0,9$).

Из формулы (2) следует, что при переходе решетки на другую с более мелкими отверстиями (из одного комплекта), при уменьшении S имеет место падение Q_T , что недопустимо. Ножевые решетки, входящие в стандартный комплект режущих инструментов эмульсатора, должны иметь равное проходное (живое) сечение между собой, независимо от диаметра отверстий и их количества, при этом геометрические параметры ножевых решеток необходимо взаимовязать определенными соотношениями.

Геометрические параметры ножевых решеток. Построение математической модели [11, 12, 13, 14, 15].

Рассмотрим комбинацию из трех ножевых решеток №1, №2 и №3.

Определяем проходное сечение решетки №1.

$$S_1 = f_1 \cdot Z_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} \cdot Z_1. \quad (3)$$

Определяем проходное сечение решетки №2.

$$S_2 = f_2 \cdot Z_2 = \frac{\pi d_2^2}{4} \cdot Z_2. \quad (4)$$

Определяем проходное сечение решетки №3.

$$S_3 = f_3 \cdot Z_3 = \frac{\pi d_3^2}{4} \cdot Z_3 \quad (5)$$

По условию $S_1 = S_2 = S_3$

или

$$\frac{\pi d_1^2}{4} \cdot Z_1 = \frac{\pi d_2^2}{4} \cdot Z_2 = \frac{\pi d_3^2}{4} \cdot Z_3 \quad (6)$$

$$d_1^2 \cdot Z_1 = d_2^2 \cdot Z_2 = d_3^2 \cdot Z_3 \quad (7)$$

$$Z_2 = \frac{d_1^2 \cdot Z_1}{d_2^2} = Z_1 \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 \quad (8)$$

и

$$Z_3 = \frac{d_2^2 \cdot Z_2}{d_3^2} = Z_2 \left(\frac{d_2}{d_3} \right)^2 \quad (9)$$

Окончательно получаем

$$Z_{n+1} = \left[Z_n \left(\frac{d_n}{d_{n+1}} \right)^2 \right] \quad (10)$$

где n — порядковый номер ножевой решетки; d — диаметр отверстий в ножевой решетке; Z — количество отверстий в ножевой решетке, а квадратные скобки обозначают целую часть числа.

Таким образом, определение геометрических параметров одной решетки через геометрические параметры другой позволяет получить одинаковое проходное (живое) сечение решеток, входящих в стандартный комплект режущих инструментов.

Гидравлический расчет ножевых решеток. Построение математической модели. Определение потерь напора или давления является практически важной задачей, связанной с расчетом энергии, которая необходима для перемещения измельчаемого сырья через перфорированную ножевую решетку [16, 17, 18, 19, 20].

При движении измельчаемого сырья в рабочей камере эмульсатора с учетом потери энергии на преодоление гидравлического сопротивления ножевой решетки уравнение движения среды по закону Бернулли будет иметь следующий вид:

$$\frac{P_1 - P_2}{\rho g} + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2g} = H_{\text{пот}} \quad (11)$$

где P_1, P_2 — давление среды соответственно до и после ножевой решетки, Па; V_1, V_2 — скорость сырья соответственно до и после ножевой решетки, м/с; ρ — плотность среды, кг/м³; $H_{\text{пот}}$ — потери энергии (напора) на данном участке рабочей камеры, Па. Линейные потери напора в Па определяются по формуле:

$$H_{\text{л}} = \lambda \frac{l_0}{d_0} \cdot \frac{V^2}{2} \rho \quad (12)$$

где λ — коэффициент трения; l_0 — толщина отверстий перфорации ножевой решетки, м; d_0 — диаметр отверстий перфорации ножевой решетки, м; V — скорость движения сырья в отверстиях, м/с.

Величина потерь напора на преодоление местных сопротивлений в Па пропорциональна скоростному напору и плотности сырья и определяется как

$$H_{\text{м}} = \sum \xi \frac{V^2}{2} \rho \quad (13)$$

где ξ — безразмерный коэффициент местного сопротивления.

При прохождении через ножевую решетку сырье вначале испытывает внезапное сужение, а затем — внезапное расширение — местные сопротивления. Таким образом, общие потери давления в рабочей камере можно определить как сумму линейных и местных потерь давления транспортируемого потока сырья:

$$H_{\text{пот}} = H_{\text{л}} + H_{\text{м}} \quad (14)$$

Однако, как показывают расчеты, даже при постоянном значении проходного (живого) сечения с уменьшением диаметра отверстий при увеличении их количества, резко возраста-

ет гидравлическое сопротивление решетки, которое складывается из местных и линейных потерь. Линейные потери в основном определяются длиной отверстия, которая является толщиной решетки. В стандартном комплекте режущих инструментов эмульсаторов все решетки имеют одинаковую толщину. В этом случае потери давления (линейные) $H_{\text{л}}$ можно существенно снизить за счет уменьшения толщины ножевой решетки: при увеличении числа отверстий толщина решетки должна уменьшиться.

Для определения оптимальной толщины решетки проведем следующие вычисления, исходя из условия

$$H_{\text{л}}^1 = H_{\text{л}}^2 = H_{\text{л}}^3 = \dots$$

или

$$H_{\text{л}}^n = H_{\text{л}}^{n+1} = H_{\text{л}}^{n+2} = \dots$$

где n — порядковый номер ножевой решетки, считая от решетки с самыми крупными отверстиями

Для первой решетки:

$$H_{\text{л}}^1 = \lambda_1 \frac{l_1}{d_1} \cdot \frac{V_1^2}{2} \cdot \rho_1 \cdot z_1 \quad (15)$$

Для второй решетки:

$$H_{\text{л}}^2 = \lambda_2 \frac{l_2}{d_2} \cdot \frac{V_2^2}{2} \cdot \rho_2 \cdot z_2 \quad (16)$$

Принимаем, что

$$\lambda_1 \approx \lambda_2; v_1 \approx v_2; \text{ и } \rho_1 \approx \rho_2 \quad (17)$$

Тогда

$$H_{\text{л}}^1 = H_{\text{л}}^2 \quad (18)$$

и

$$\frac{l_1}{d_1} \cdot z_1 = \frac{l_2}{d_2} \cdot z_2 \quad (19)$$

где Z_1 и Z_2 — количество отверстий соответственно в первой и второй решетках,

$$l_1 \cdot \frac{z_1}{z_2} = l_2 \frac{d_1}{d_2} \quad (20)$$

$$l_2 = l_1 \frac{d_2}{d_1} \cdot \frac{z_1}{z_2} \quad (21)$$

В общем виде

$$l_{n+1} = l_n \frac{d_{n+1}}{d_n} \cdot \frac{z_n}{z_{n+1}} \quad (22)$$

Таким образом, новую толщину ножевой решетки можно определить в зависимости от первоначальной толщины, количества новых отверстий и с учетом нового диаметра отверстий и в этом случае все решетки, входящие в стандартную комплектацию, будут иметь равное между собой гидравлическое сопротивление по линейным потерям давления.

Используя формулы (21) и (22), можно определить оптимальные параметры новых ножевых решеток, входящих в комплект режущих инструментов эмульсатора, которые представлены в табл. 2.

Из данных табл. 2 видно, что новые ножевые решетки при диаметрах отверстий 10, 5 и 1,2 мм имеют одинаковое проходное (живое) сечение при $K = \text{const}$ по сравнению с серийными, для которых $K \neq \text{const}$.

Таблица 2. Конструктивные параметры ножевых решеток
Table 2. Design parameters of knife grids

№ п/п	Параметр	Обозначение	Серийные решетки			Новые решетки		
1	Наружный диаметр решетки, мм	D_H	200			200		
2	Общая площадь решетки, мм ²	F_p	314000			314000		
3	Диаметр отверстий, мм	d_o	10	5	1,2	10	5	1,2
4	Количество отверстий, шт	Z_o	90	362	5422	90	397	6887
5	Площадь проходного (живого) сечения, мм ²	S	77851	71092	61290	77851	77910	77859
6	Коэффициент пропускной способности решетки	K	0,248	0,227	0,195	0,248	0,248	0,248
7	Толщина ножевых решеток, мм	b	10	10	10	10	5	3

Кроме того, уменьшение толщины у новых решеток с 10 мм до 5 мм и до 3 мм соответственно обуславливает равенство их гидравлических сопротивлений по линейным потерям давления.

Таким образом, новые ножевые решетки обеспечивают одинаковую производительность эмульсатора.

Совершенствование конструкции режущего механизма эмульсатора. Построение математической модели. При скользящем резании сопротивление перерезанию волокон и стенок клеток продукта уменьшается с возрастанием угла скольжения или, что то же самое, — с увеличением коэффициента скольжения и длины режущей кромки лезвия. Поэтому в системе нож-решетка необходимо использовать не только законы скользящего резания, но и максимальную длину режущей кромки лезвия. На рис. 1 представлена схема определения коэффициента скольжения по длине прямолинейного лезвия в трущейся паре нож-решетка.

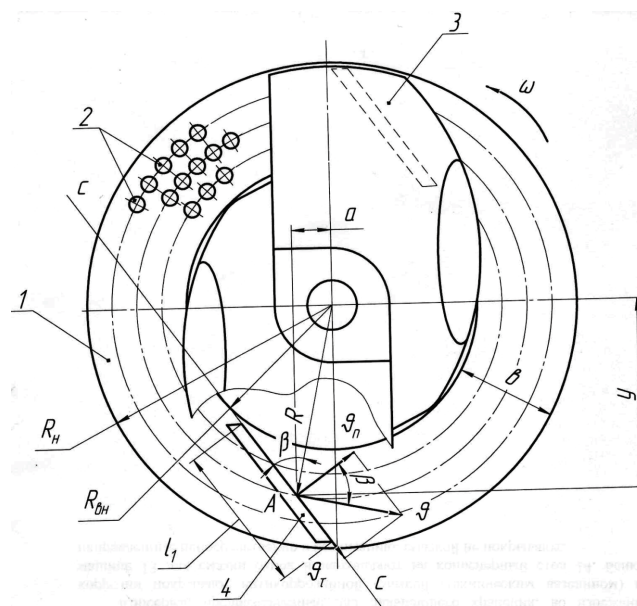


Рис. 1. Схема определения коэффициента скольжения по длине прямолинейного лезвия
1 — ножевая решетка; 2 — отверстие перфорации; 3 — вращающийся нож; 4 — лезвие ножа; l — длина режущей кромки лезвия; R_n — наружный радиус решетки; R_{in} — внутренний радиус решетки; $C-C$ — касательная к внутренней окружности R_{in} ; V — линейная скорость произвольной точки A ; V_n , V_r — нормальная и составляющая линейной скорости V ; β — угол скольжения; a , y — координаты точки A ; R — радиус вращения точки A ; b — ширина кольца

Fig. 1. Scheme for determining the slip coefficient along the length of a straight blade
1 — knife grid; 2 — perforation hole; 3 — rotating knife; 4 — knife blade; l — is the length of the cutting edge of the blade; R_n — is the outer radius of the lattice; R_{in} — is the inner radius of the grating; $C-C$ — tangent to the inner circle R_{in} ; V — is the linear speed of an arbitrary point A ; V_n , V_r — are the normal and component of the linear velocity V ; β — is the slip angle; a , y — coordinates of point A ; R — is the radius of rotation of point A ; b — ring width

Как видно из рис. 1 коэффициент скольжения K_β определяется по формуле [21, 22, 23].

$$K_\beta = \frac{V_r}{V_n} = \operatorname{tg} \beta \frac{a}{y} \quad (23)$$

Режущая кромка лезвия 4 вращающегося ножа 3 проходит по касательной СС к внутренней окружности $R_{вн}$ и в этом случае длина l режущей кромки лезвия 4 будет максимальной, а коэффициент скольжения K_β — наибольшим.

В точке B ($y = 0$), $V_n = 0$ и $K_\beta = \infty$, т.е. резания не будет. При увеличении y K_β уменьшается. При $y = \text{const}$ K_β возрастает с увеличением a . Если $a = 0$

$K_\beta = 0$ — имеет место рубящее резание.

Таким образом, расположение режущей кромки лезвия наклонно по касательной СС к внутренней окружности $R_{вн}$ ножевой решетки позволяет получить наибольшую длину l лезвия 4 и, как следствие, создать наилучшие условия для скользящего резания и процесса измельчения в целом.

С увеличением коэффициента скольжения K_β суммарная сила сопротивления перерезанию продукта P и ее нормальная составляющая P_n уменьшаются, что и приводит к снижению энергозатрат на процесс измельчения.

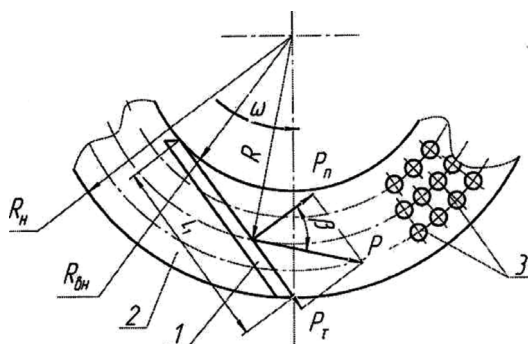


Рис. 2. Схема определения длины режущей кромки лезвия ножа.

P — сила сопротивления перерезанию продукта; P_n — нормальная составляющая силы P ;

P_τ — касательная составляющая силы P ; β — угол скольжения

Fig. 2. Scheme determining the length of the cutting edge of the knife blade P — is the force resistance to cutting the product; P_n — is the normal component of the P ; P_τ — is the tangential component of the force P ; β — slip angle

Нормальная P_n и касательная P_τ составляющие сопротивления перерезанию P (рис. 2) определяется по формулам:

$$P_n = P \cos \beta = q l \cos^2 \beta; \quad (24)$$

$$P_\tau = P \sin \beta = q l \sin \beta \cos \beta \quad (25)$$

где q — удельное сопротивление продукта на единицу длины лезвия, Н·м; l — длина режущей кромки лезвия ножа, участвующая в отрезании слоя продукта, м.

$$P = q \cdot l \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + K_\beta^2}}; \quad (26)$$

$$P_n = q \cdot l \cdot \frac{1}{1 + K_\beta^2}; \quad (27)$$

$$P_\tau = q \cdot l \cdot \frac{K_\beta^2}{1 + K_\beta^2}; \quad (28)$$

Из формул (24 — 26) следует, что с увеличением коэффициента скольжения K_β суммарная сила сопротивления перерезания P и ее нормальная составляющая P_n уменьшаются, причем P_n более значительно, чем P . Касательная составляющая P_τ вначале возрастает, достигая максимума при $K_\beta = 1$, после чего убывает, приближаясь по величине к P .

Из рис. 2 определяем оптимальную длину режущей кромки лезвия ножа:

$$L = \sqrt{b^2 + 2R_n (R_n - b)}, \quad (29)$$

где b — ширина кольца (рабочей поверхности решетки).

Заключение. На основе анализа литературных данных и патентно-информационных исследований, а также изучения основных закономерностей теории резания материалов сформулированы основные направления совершенствования конструкций режущих инструментов машин для тонкого измельчения мясного сырья. В частности установлено, что наилучшие показатели по энергозатратах и качеству готового продукта обеспечивает скользящее резание мясного сырья, а не рубящее, имеющее место в режущих механизмах эмульсатора.

На основе закономерностей скользящего резания получена формула для определения наибольшей длины режущей кромки лезвий вращающегося ножа в зависимости от ширины кольцевой рабочей поверхности перфорированных ножевых решеток, при этом определен оптимальный угол наклона режущей кромки лезвия ножа, позволяющей получить наибольший коэффициент скольжения.

Дано теоретическое обоснование геометрических и конструктивных параметров отдельно взятой ножевой решетки и ножевых решеток, входящих в стандартный комплект режущих инструментов машин, а именно:

- ♦ на основании теории предпочтительных чисел разработана расчетная модель перфорированной ножевой решетки, позволяющая получить одинаковую пропускную способность по всей рабочей поверхности при концентрическом расположении отверстий решетки; [1];
- ♦ предложена новая теоретическая формула для расчета геометрических параметров ножевых решеток, входящих в комплект стандартного набора режущих инструментов: данная формула позволяет рассчитывать параметры перфорации одной решетки в зависимости от характеристик другой, что позволяет получить одинаковое проходное (живое) сечение для всего комплекта ножевых решеток;
- ♦ выполнен гидравлический расчет ножевых решеток и впервые выведена формула для расчета толщины ножевой решетки в зависимости от диаметра и количества отверстий перфорации: формула позволяет подравнивать гидравлические сопротивления ножевых решеток, входящих в стандартный набор режущих инструментов.

Новые технические решения защищены патентами РБ на изобретения №5244 и №5431.

Для оценки эффективности работы новых технических решений и проверки основных теоретических предпосылок необходимо проведение экспериментальных исследований, для чего требуется разработать, смонтировать и наладить лабораторный стенд и изготовить опытные образцы ножевых решеток и ножей.

Список использованных источников

1. Груданов В. Я. Теоретические основы повышения качества и эффективности процесса тонкого измельчения мясного сырья на эмульсаторах / В. Я. Груданов, А. А. Бренч, А. Б. Торган, И. Е. Дацук, С. А. Зеленко, В. В. Василевская // Пищевая промышленность: наука и технологии. — 2022. — №2 (56). — С. 45–55.
2. Адрианов, А. С. Литые решетки к волчкам с отверстиями малого диаметра / А. С. Адрианов, Г. А. Мартынов. — М.: ЦНИИТЭИмясомолпром, 1980. — С.19–22. — (Экспресс информация, сер. мясная промышленность).
3. Антипов, С. Т. 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.
4. Антипов, С. Т. 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.
5. 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.
6. 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.

7. 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.
8. Технологическое оборудование мясокомбинатов / С. А. Бредихин [и др.]. — М.: Колосс, 1997. — 392 с.
9. 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.
10. 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.
11. Генин, Э. С. Основные направления создания оборудования для мясной промышленности / Э. С. Генин. — Мясная индустрия СССР. — 1987. — №6. — С. 1–4.
12. 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.
13. Горбатов, А. В. Реология мясных и молочных продуктов / А. В. Горбатов. — М.: Пищевая промышленность, 1979. — 384 с.
14. 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.
15. 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.
16. Даурский, А. Н. Резание пищевых материалов. Теория процесса, машины, интенсификация / А. Н. Даурский, Ю. А. Мачихин. — М.: Пищевая промышленность, 1980. — 240 с.
17. 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.
18. 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.
19. Изменение структурно-механических свойств фарша при механической обработке / В. М. Зацерковный [и др.] // Мясная индустрия СССР. — 1982. — №2. — С. 27 — 29.
20. 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.
21. Кармас, Э. Технология колбасных изделий / Э. Кармас. — М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. — 215 с.
22. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. — М.: Химия, 1973. — 762 с.
23. 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» (пр-т Независимости, 99, 220124, г. Минск, 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» (пр-т Независимости, 99, 220124, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: abrench@mail.ru

Information about 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

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

Атрошчик Максим Дмитриевич, студент 3 курса учреждения образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» (пр-т Независимости, 99, 220124, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: Atroshchyk1@yandex.by

Torhan 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

Atroshchyk Maksim Dmitrievich, student of the Belarusian State Agrarian Technical University (Nezavisimosti ave. 99, 220124, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: Atroshchyk1@yandex.by

УДК 637.1.026

Поступила в редакцию 05.06.2023
Received 05.06.2023**И. С. Леонович, Г. Е. Раицкий***Учреждение образования «Гродненский государственный аграрный университет»,
г. Гродно, Республика Беларусь***НЕДОСТАТКИ РАСПЫЛИТЕЛЬНОЙ СУШКИ МОЛОЧНЫХ ПРОДУКТОВ
И ПУТИ СНИЖЕНИЯ ИХ ВЛИЯНИЯ**

Аннотация. В статье исследованы причины больших потерь готового сухого продукта с выводимым из системы установки теплоносителем, возможность снижения таких потерь, рециркуляции теплоносителя с целью снижения теплоэнергетических ресурсов в процессе сушки молочных продуктов.

Разработаны технические устройства для мокрого осаждения дисперсной фазы молочной пыли, с использованием ее в виде продукта для повторной сушки, для использования тепла конденсата греющего пара и отработанного воздуха-теплоносителя, а также подготовки к использованию свежего воздуха путем снижения их влагосодержания.

Ключевые слова: распылительные сушильные установки, потери готового продукта, системы аспирации, рециркуляция теплоносителя.

I. S. Leonovich, G. E. Raitsky*Grodno State Agrarian University, Grodno, Republic of Belarus***DISADVANTAGES OF SPRAY DRYING OF DAIRY PRODUCTS
AND WAYS TO REDUCE THEIR INFLUENCE**

Abstract. The article investigated the causes of large losses of the finished dry product with the coolant removed from the installation system, the possibility of reducing such losses, recirculating the coolant in order to reduce heat and energy resources during the drying of dairy products.

Technical devices have been developed for wet deposition of the dispersed phase of milk dust, using it in the form of a product for repeated drying, for using the heat of the heating steam condensate and waste air-heat carrier, as well as preparing for the use of fresh air by reducing their moisture content.

Keywords: spray drying plants, loss of waste product, aspiration systems, coolant recirculation.

Введение. Мировая практика сушки молочных продуктов основана на эксплуатации распылительных сушильных установок, постоянно совершенствуемых с целью снижения затрат на процесс сушки и повышения качества готового продукта. Вместе с тем общеизвестны недостатки процесса: большая составляющая в себестоимости сушки стоимости теплоэнергоресурсов, значительные потери в окружающую среду готового сухого продукта.

Одной из важнейших проблем экологии и соответственно современного производства является защита воздушного бассейна от выбросов промышленных и энергетических предприятий. В воздух поступают аэрозольные частицы (пыль, дым, туман), газы, пары, а также микроорганизмы и радиоактивные вещества. Качество воздуха ухудшается также из-за присутствия в воздухе носителей неприятных запахов. Другим отрицательным свойством многих видов пыли является их взрывоопасность.

Очистка выбросов перед их поступлением в атмосферу предотвращает загрязнение атмосферного воздуха, позволяет вернуть в производство полезные вещества и утилизировать без ущерба для окружающей среды вредные и опасные вещества, содержащиеся в выбросах. В результате увеличивается выпуск готовой продукции и полностью или частично окупаются расходы на очистку.

Требования к качеству воздушной среды, в том числе к чистоте воздуха, постоянно возрастают. В связи с этим необходимо целенаправленно разрабатывать и внедрять новые методы и более совершенное оборудование для очистки воздуха.

На молокоперерабатывающих предприятиях в процессе выработки сухих молочных продуктов происходит выделение молочной пыли. Молочная пыль является ценным продуктом. Выброс пыли в атмосферу с воздухом, после недостаточной очистки или другие ее потери соответственно уменьшают выпуск готовой продукции. Молочная пыль, при определенной концентрации, представляет значительную опасность, как с точки зрения ее отрицательного воздействия на работающих, так и с точки зрения возможности образования взрывоопасной смеси. С экономической точки зрения улавливание молочной пыли и возвращение ее в производство может в значительной мере окупить затраты на очистку воздуха от пыли. Очищенный от пыли воздух впоследствии может быть использован в рекуператоре для предварительного подогрева воздуха перед калориферной батареей. Особую значимость эта проблема приобретает сейчас — в качественно новых рыночных условиях [1].

Решение вопроса повышения эффективности очистки воздуха осложняется отсутствием в ряде случаев полных сведений о физико-химических свойствах молочных порошков, режимных параметрах запыленного воздуха, противоречивых данных по вопросу эффективности циклонной очистки.

Для удовлетворения санитарно-гигиенических требований к воздуху, отработавшему в процессе распылительной сушки молока, и сокращения потерь готовой продукции необходимо существенно повысить эффективность и экономичность способов улавливания пыли.

Анализ литературы по проблеме сушки молочных продуктов говорит о том, что в настоящее время на производстве недостаточно данных по оценке уровня потерь готового продукта с отработанным теплоносителем. Имеются только единичные исследования, не всегда отражающие действительное положение дел [2, 4–6].

В настоящее время для очистки запыленных газовых выбросов применяют различные виды пылеулавливающего оборудования, использующие такие механизмы осаждения как гравитационный (гравитационное осаждение происходит из горизонтально направленного газового потока), инерционный (осаждение пыли за счет изменения направления движения газового потока или на препятствие), центробежный (осаждение пыли за счет действия центробежной силы при вращении газового потока), мокрое пылеотделение, фильтрование, комбинированные и др.

Сухие молочные продукты пользуются устойчивым спросом на мировом рынке. Их производство позволяет нивелировать сезонность поступления сырья в вопросе обеспечения питьевым молоком больших городов, и адаптироваться к годовым колебаниям цен [5].

В молочной промышленности для получения сухих молочных продуктов используют как правило распылительные сушилки, в которых распыленный до мелкокапельного состояния продукт контактирует с сухим, нагретым до 170–230 °С воздухом.

При кратковременном нагревании влага из продукта выделяется в виде водяного пара и уносится из сушильной башни отработанным воздухом. Воздух, имеющий температуру 80–130 °С, очищается от сухого продукта, и выбрасывается в окружающую среду, как правило вне помещения. Уменьшение температуры со 185 °С до 80 °С происходит за счет фазового перехода воды в парообразное состояние и повышается влагосодержание с 9–11 г/кг до 38–42 г/кг. Наиболее целесообразно использовать данный потенциал отработанного теплоносителя для подогрева воздуха перед калорифером и сокращения за счет этого расхода пара.

Процесс сушки молочных продуктов сопровождается выбросом с отработанным теплоносителем большого количества сухого молока (5–20 кг/ч и более). Причина этого связана с тем, что применяемые для очистки воздуха циклоны не обеспечивают необходимый уровень улавливания сухого молока, содержание которого в отработанном воздухе составляет 120–250 мг/м³, а по некоторым технологиям достигают 350–800 мг/м³ (например, сушка сыворотки).

Распылительная сушка, несмотря на значительные энергозатраты, является самым надежным и распространенным способом консервирования молока, исключая необходимость применения консервантов, обеспечивающей исключительно эффективное сохранение ценнейшего пищевого сырья. На ближайшую перспективу распылительная сушка альтернатив не имеет [3].

Большая энергоемкость процесса производства сухого молока заставляет усиленно заниматься поисками возможностей ее уменьшения. Одновременно с рационализацией путей энергопотребления необходимо изыскать эффективные методы использования теплоты отработанных теплоносителей.

В связи с ростом стоимости энергии в последние годы представляет большой интерес использование теплоты воздуха, отработанного в сушильных установках, для нагревания направляемого в сушилку атмосферного воздуха. Для этого многие фирмы применяют специальные теплообменники-рекуператоры, отличающиеся конструкцией и принципом теплообмена.

Оснащение сушильных установок высокоэффективными системами пылеулавливания является одной из главных задач, так как эффективная очистка воздуха в пищевой промышленности имеет не только санитарно-гигиеническое, экологическое, но и экономическое значение.

Исходя из сложившейся ситуации, представляются перспективными работы в таких направлениях:

- ♦ внедрение оборудования по снижению влагосодержания первичного воздуха;
- ♦ разработка и внедрение систем рекуперации и использования тепла отработанного воздуха на примере распылительных сушильных установок молочной промышленности;
- ♦ разработка системы использования тепла, отводимого конденсата из калориферов воздухоподогревателей.

Сушка молочных продуктов — высокзатратный процесс обезвоживания. Даже в сравнении с повышением концентрации продукта выпариванием, характерной стадии производства сухих молочных продуктов, при сушке используется в десятки раз больше тепловой энергии. Так современные вакуум-выпарные установки используют тепловую энергию — 1 кг водяного пара на выпаривание 14ч17 кг воды из молочного продукта, в то время как для вывода 1 кг влаги при сушке с использованием лучших распылительных сушильных установок, затрачивается 2-3 кг такого же пара.

Таким образом, важная отрасль молочной промышленности требует оценки существующего положения, определения причин значительных потерь готового продукта, поиска путей их снижения.

Материалы и методы исследований. Объектами исследований являлись распылительные сушилки, используемые на молочных предприятиях Гродненской области, в частности:

- ♦ системы подготовки теплоносителя с использованием калориферных батарей;
- ♦ системы аспирации отработанного теплоносителя с использованием циклонов и определением потерь готового продукта в окружающую среду.

Методы исследования применяли общетехнические и экспериментально — модельные. Измерение теплотехнических характеристик калориферного нагревания насыщенных паром производимым с использованием термометров сопротивления с самопишущими блоками.

Потери в окружающую среду дисперсной фазы в молочной пыли определялись прямым методом одновременно снятием поля скоростей потока теплоносителя и поля запыленности.

Полученные результаты дополнительно исследовали методом моделирования процесса аспирации и сравнения их с техническими характеристиками сушильных установок.

Результаты исследований и их обсуждение.

1. Энергетический и материальный балансы процесса распылительной сушки. Поскольку предметом таких исследований является собственно процесс сушки, с целью выявления возможностей повышения его энергоэффективности рассмотрим статику изменения воздуха — теплоносителя, тепловой и материальный балансы сушки.

При распылительной сушке используется в большей или меньшей степени кондиционированный воздух, забираемый из помещения или, чаще — из окружающей атмосферной среды. Кондиционирование, как правило, ограничивается грубым фильтрованием воздуха на пластинчатых фильтрах, иногда смоченных растительным пищевым маслом. Влажность воздуха изменяется в широком диапазоне и зависит от состояния атмосферы, иными словами — от погоды. В сухие, ясные дни, особенно в морозную погоду влажность может быть низкой, и наоборот — в теплую. Относительная влажность в зоне РБ находится в диапазоне 80-95%. Аргюи принимаем, что высокая влажность воздуха неизбежно будет снижать его сушающую способность при использовании в качестве теплоносителя, и для его нагрева до технологических параметров, будет затрачиваться больше тепловой энергии.

Влажный воздух может быть ненасыщенным, насыщенным и пересыщенным в зависимости от того, в какой области относительно границы насыщения находятся его параметры.

Влагосодержание воздуха характеризуется массой влаги в 1 кг сухого воздуха x (кг/кг).

В соответствии с законом Дальтона общее давление воздуха p равно сумме давлений сухого воздуха p_v и водяного пара p_n :

$$p = p_v + p_n.$$

Используя уравнение газового состояния для 1 кг сухого воздуха, получим:

$$P_{\text{в}} \cdot V = 1 \cdot R_{\text{в}} \cdot T.$$

Для 0,001 кг водяного пара, находящегося в том же объеме:

$$V = 0,001 \cdot R_{\text{п}} \cdot T.$$

Подставив значения газовых постоянных для пара и сухого воздуха:

$$R_{\text{п}} = 0,462 \text{ кДж/(кг·К)} \text{ и } R_{\text{в}} = 0,278 \text{ кДж/(кг·К)},$$

получим связь влагосодержания и парциальных давлений в виде:

$$x = 0,622 \cdot \frac{p_{\text{п}}}{p - p_{\text{п}}}.$$

В состоянии насыщения, характеризуемом предельно возможным содержанием паров в воздухе, справедливо равенство $p_{\text{п}} = p_{\text{н}}$, где $p_{\text{п}}$ — парциальное давление пара, соответствующее состоянию насыщения. Отношение $p_{\text{п}}/p_{\text{н}} = \phi$ называется относительной влажностью. Парциальное давление паров в состоянии насыщения $p_{\text{н}}$ увеличивается с ростом температуры и измеряется психрометром.

В системе воздух — вода вещества могут находиться в двух фазах (газообразной и жидкой), число компонентов в ней также равно двум (воздух и вода), следовательно, число ее степеней свободы (по правилу фаз Гиббса) равно 2. Это значит, что независимо в ней могут изменяться только два параметра. Ими обычно являются температура t и относительная влажность ϕ воздуха. Все остальные параметры системы зависимы: удельная теплоемкость c , удельная энтальпия i , влагосодержание x , парциальное давление пара $p_{\text{п}}$ и др. Для определения удельной теплоемкости влажного воздуха [кДж/(кг·К)] используется зависимость [1,2] :

$$c = c_{\text{с.в.}} + x \cdot c_{\text{п}},$$

где $c_{\text{с.в.}}$ — удельная теплоемкость сухого воздуха, кДж/(кг·К); $c_{\text{с.в.}} \approx 1,00$ кДж/(кг·К); $c_{\text{п}}$ — удельная теплоемкость водяного пара, кДж/(кг·К); $c_{\text{п}} = 1,93$ кДж/(кг·К).

Таким образом, удельная теплоемкость влажного воздуха [кДж/(кг·К)]:

$$c = 1,00 + 1,93x.$$

Рассмотрим балансы по продукту и воздуху-теплоносителю. Баланс по высушенному продукту включает G — массу продукта в процессе, соответственно G_1 — массу влажного продукта поступающего на распылительные устройства, кг/ч; G_2 — массу высушенного, готового продукта, без вычета потерь, кг/ч; w_1 , w_2 — начальную и конечную влажность материала соответственно, %; W — массу влаги, удаленной из влажного продукта в процессе его сушки, кг/ч [1].

Тогда уравнение материального баланса имеет вид:

$$G_1 = G_2 + W \quad (1)$$

Материальный баланс по абсолютно сухому веществу в высушиваемом продукте равен

$$G_1 \frac{100 - w_1}{100} = G_2 \frac{100 - w_2}{100}. \quad (2)$$

Из уравнения (2) следует:

$$G_1 = G_2 \frac{100 - w_2}{100 - w_1} \text{ и } G_2 = G_1 \frac{100 - w_1}{100 - w_2}. \quad (3)$$

Из уравнения (1) определяем массу удаляемой при сушке влаги W

$$W = G_1 - G_2. \quad (4)$$

Подставляя в выражение (4) значение G_2 из уравнения (3), получим

$$W = G_1 - G_1 \frac{100 - w_1}{100 - w_2} = G_1 \frac{w_1 - w_2}{100 - w_2}. \quad (5)$$

При подстановке в выражение (5) значения G_2 по уравнению (4) определим массу удаляемой влаги:

$$W = G_2 \frac{w_1 - w_2}{100 - w_1}. \quad (6)$$

Если значение W известно, то из уравнения (6) можно определить значение G_2 .

Уравнения (5) и (6) являются основными уравнениями материального баланса процессов сушки.

Влажность материала в расчетах удобнее выражать по отношению к массе содержащегося в нем сухого вещества. В этом случае, заменяя величины w_1 и w_2 в уравнении (5) на w_1^c и w_2^c , получим

$$W = G_1 \frac{w_1^c - w_2^c}{100 - w_1^c} = G_2 \frac{w_1^c - w_2^c}{100 + w_2^c}. \quad (7)$$

При расчете конвективных сушилок составляется материальный баланс по влаге, из которого находят расход сухого воздуха на сушку.

Пусть на сушку поступает G_1 , кг/ч, исходного продукта, имеющего температуру t_1 °С. В сушилке из продукта испаряется W , кг/ч, влаги и из сушилки удаляется G_2 , кг/ч, высушенного продукта при температуре t_2 , °С.

В сушилку подается влажный воздух, содержащий L , кг/ч, абсолютно сухого воздуха. Перед калорифером воздух имеет энтальпию I_0 , Дж/кг сухого воздуха, после нагрева; т. е. на входе в сушилку, энтальпия воздуха повышается до I_1 , Дж/кг сухого воздуха. В процессе сушки в результате передачи теплоты продукту, поглощения испаряющейся из продукта влаги и потерь теплоты в окружающую среду энтальпия воздуха изменяется, и на выходе из сушилки энтальпия отработанного воздуха равна I_2 , Дж/кг сухого воздуха [2].

При составлении теплового баланса следует учитывать, что в сушилке могут быть транспортные устройства, в которых находится высушиваемый материал (например распылители и т. п.).

Суммарный расход теплоты в сушилке равен

$$Q = Q_{\text{и}} + Q_{\text{н}} + Q_{\text{п1}} + Q_{\text{п2}} + Q_{\text{доп}}, \quad (8)$$

где $Q_{\text{и}}$ и $Q_{\text{н}}$ — расход теплоты на испарение влаги и нагрев продукта; $Q_{\text{п1}}$ и $Q_{\text{п2}}$ — потери теплоты в окружающую среду и с отработанным воздухом-теплоносителем; $Q_{\text{доп}}$ — расход теплоты на дополнительно введение водяного пара в составе влажного воздуха, охлаждающего воздуха, сжатого воздуха для пневмоочистки сушильной башни (применяется в некоторых установках).

Для непрерывных процессов рассчитываем часовой расход теплоты, для сушилок периодического действия — расход теплоты ΣQ на один цикл сушки.

Расход теплоты на испарение влаги, кДж/кг,

$$Q_{\text{и}} = W(i_{\text{п}} - i_{\text{ж}}), \quad (9)$$

где $i_{\text{п}}$ — энтальпия перегретого пара при температуре отходящих газов, кДж/кг; $i_{\text{ж}}$ — энтальпия жидкости при начальной температуре продукта, кДж/кг.

Расход теплоты на нагрев продукта, кДж/кг,

$$Q_{\text{н}} = G_2 c_{\text{м}} (t_2 - t_1), \quad (10)$$

где G_2 — производительность сушилки по высушенному продукту, кг/ч; t_2 — температура продукта после сушки, К; t_1 — начальная температура продукта перед сушкой, К; $c_{\text{м}}$ — удельная теплоемкость высушенного продукта, кДж/(кг·К);

$$c_{\text{м}} = c_c \frac{1}{1 + u_{\text{к}}} + \frac{u_{\text{к}}}{1 + u_{\text{к}}}, \quad (11)$$

где c_c — удельная теплоемкость абсолютно сухого продукта, кДж/(кг·К); $u_{\text{к}}$ — конечное влагосодержание высушенного продукта, кг/кг.

Потери теплоты сушилкой в окружающую среду:

$$Q_{\text{н1}} = KF(t_{\text{ср}} - t_0), \quad (12)$$

где K — коэффициент теплопередачи через стенку сушилки, кДж/(м²·ч·К); F — наружная площадь поверхности сушилки, м²; $t_{\text{ср}}$ — средняя температура в сушилке, К; t_0 — температура окружающей среды, К.

Теплоизоляцию сушилки подбирают так, чтобы температура наружной стенки не превышала 40 °С или чтобы коэффициент теплопередачи был равен 0,1...0,2 кДж/(м²·ч·К).

Потери теплоты с отходящими газами составят:

$$Q_{n2} = L(I_2 - I_0), \quad (13)$$

где I_2 — энтальпия газов при температуре t_2 и начальном влагосодержании их x_1 , кДж/кг; I_0 — энтальпия наружного воздуха, кДж/кг; L — часовой расход газов (с учетом подсоса наружного воздуха), выбрасываемых в атмосферу, кг/ч.

Расход теплоты $Q_{\text{доп}}$ будет равен сумме расхода для различных объектов, участвующих в процессе сушки: воздуха, водяного пара, сжатого воздуха по однотипному уравнению:

$$Q_{\text{доп}} = \sum Gc(t_k - t_n), \quad (14)$$

где G — расход соответствующего дополнительного материала, кг/ч; c — его теплоемкость, кДж/(кг·К); t_k , t_n — соответственно температура конечная и начальная, °С.

2. Оценка тепловых потерь и целесообразности рекуперации тепла. Часть теплового потока нагревающего поверхности внутри сушильной башни не могут быть в полной мере отнесены к тепловым потерям. Конструкции теплоизоляции башни рассчитываются таким образом, чтобы температура ее наружной стенки не превышала 40 °С. Остальная энергия в виде радиационной теплопередачи от стенок башни к каплям распыленного продукта определяется законом Стефана-Больцмана:

$$Q_{\text{доп}} = \Sigma \cdot \varepsilon \cdot F \cdot \varphi(T_{\text{ст}}^4 - T_{\text{ч}}^4) \quad (15)$$

где $Q_{\text{рад}}$ — радиационный тепловой поток к каплям, Вт; Σ — постоянная Стефана-Больцмана, Вт/(м²·К⁴); ε , φ — соответственно приведенная степень черноты и коэффициент взаимного облучения капелек и стенок башни.

К нерациональному расходу первичного тепла следует отнести его затраты на нагрев продукта, если начальная температура t_1 неоправданно низка после вакуум-выпарной установки, перемешивания с компонентами основы и гомогенизации. Такой продукт следует подогреть до технологически оправданных температур с использованием специальных теплообменников и вторичных тепловых источников. Главные, очевидные, потери состоят в необходимости перегрева водяных паров в составе влажного воздуха, поступающего в калорифер или камеру теплогенератора [2]. Все рассмотренные потери сравнительно легко нивелировать при осуществлении специальных мероприятий по подогреву продукта и осушению воздуха.

Не менее значительны энергетические потери по причине большого уноса готового продукта в составе пыли, удаляемой из сушильной установки в виде отработанного теплоносителя. Здесь следует иметь ввиду не только прямые потери (до 300–800 мг/м³ пыли) но и скрытые, в виде невозможности рекуперации высокопотенциального тепла, выбрасываемого в окружающую среду, по причине его высокой загрязненности частицами сухого готового продукта, которые не позволяют организовать теплопередачу в известных в настоящее время теплообменниках для больших объемов в системе «газ-газ», например «труба в трубе» и ее модификаций, пластинчато-ребристых и др.

В тоже время рекуперация тепла крайне необходима в понимании того, что в окружающую среду выбрасывается поток теплоносителя от 42 тыс. м³/час — для средних, наиболее распространенных сушильных установок (VRA, VRC, VRD) до 130 тыс. м³/час — для крупных (Ниро-Атомайзер, Гео) и др., с температурой 70–80 °С при сушке молока, и свыше 100 °С, при сушке сывотки.

Таким образом целесообразность рекуперации очевидна и в принципе возможна, при решении в первую очередь проблемы качественной очистки отработанного теплоносителя. Вопросы кондиционирования по влажности отработанного воздуха в целом решаемы уже при существующих способах конденсации водяных паров, например методом охлаждения горячего воздуха, даже низкопотенциальным холодом водопроводной воды, тем более что в отработанном теплоносителе вторичных водяных паров, выпаренных из продукта в процессе сушки, может быть меньше, чем в свежем воздухе, при его относительной влажности свыше 80% и положительных температурах весны-лета-осени.

3. Молочная пыль, основные характеристики и свойства. Всякая пыль представляет собой опасность в той или иной мере, в не зависимости от того органического или минерального она происхождения, пищевая или техническая. Запыленность производственных помещений вредит здоровью персонала, работоспособности оборудования. С молочной пылью, кроме

подобного рода опасности необходимо иметь в виду, что твердая фаза этой пыли является полноценным готовым продуктом, потери которого сильно влияют на экономические показатели производства. Пыль из сушильных установок, создает крайне напряженную экологическую обстановку. Питательные свойства продукта благоприятствуют развитию микроорганизмов, в значительной части патологических. На данном этапе природоохранные органы ввели норматив таких выбросов — 10 мг/м^3 теплоносителя отработанного.

Размеры частиц сухого молока (от 0,5 до 30 мкм) весьма различны, зависят от способов сушки и специфики производства отдельных молочно-консервных заводов. По фракционному составу сухого цельного молока, выпускаемого некоторыми заводами (данные ВНИМИ), выведено среднее соотношение массы частиц различной величины и общей массы продукта (рис. 1).

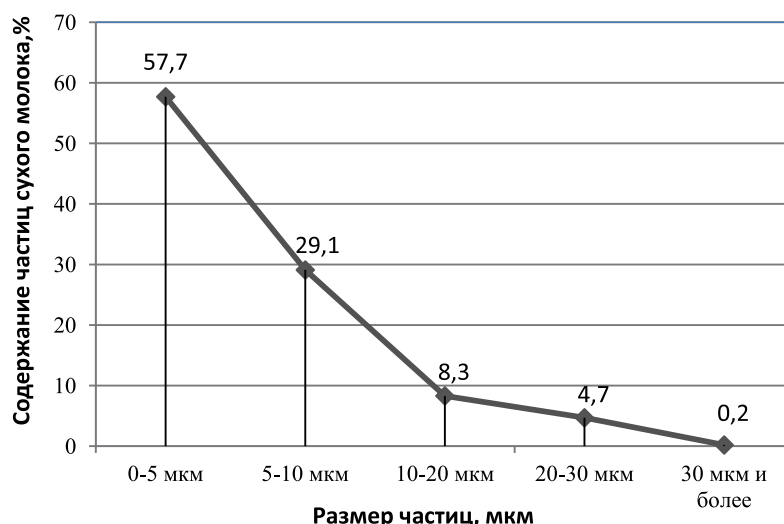


Рис. 1. Дисперсный состав пыли сухого молока в отработанном воздухе сушилок «Ниро-Атомайзер» после циклонов

Fig. 1. Dispersed composition of powdered milk dust in spent air of Niro-Atomizer dryers after cyclones

Размеры частиц в отработанном воздухе после циклонов находятся в широком диапазоне. Мелкие частицы (0-5 мкм) составляют более 50%, крупные частицы — 30 и более мкм, очевидно являются конгломератами, образовавшимися в процессе сушки и транспортирования в системе установки и в отработанном воздухе практически отсутствуют. Среднегабаритные также представлены в большом диапазоне. Это показывает, что вопросами получения монодисперсных частиц в процессе сушки, а точнее при распылении влажной молочной суспензии дисковыми или форсуночными распылителями, производители оборудования озабочены не были, по крайней мере на момент данных исследований [8-11].

Фактическая плотность частиц различных сухих молочных продуктов находится в пределах $1430\text{--}16540 \text{ кг/м}^3$.

Для мокрого осаждения характеристики плотности и размеров продукта особого значения не имеют.

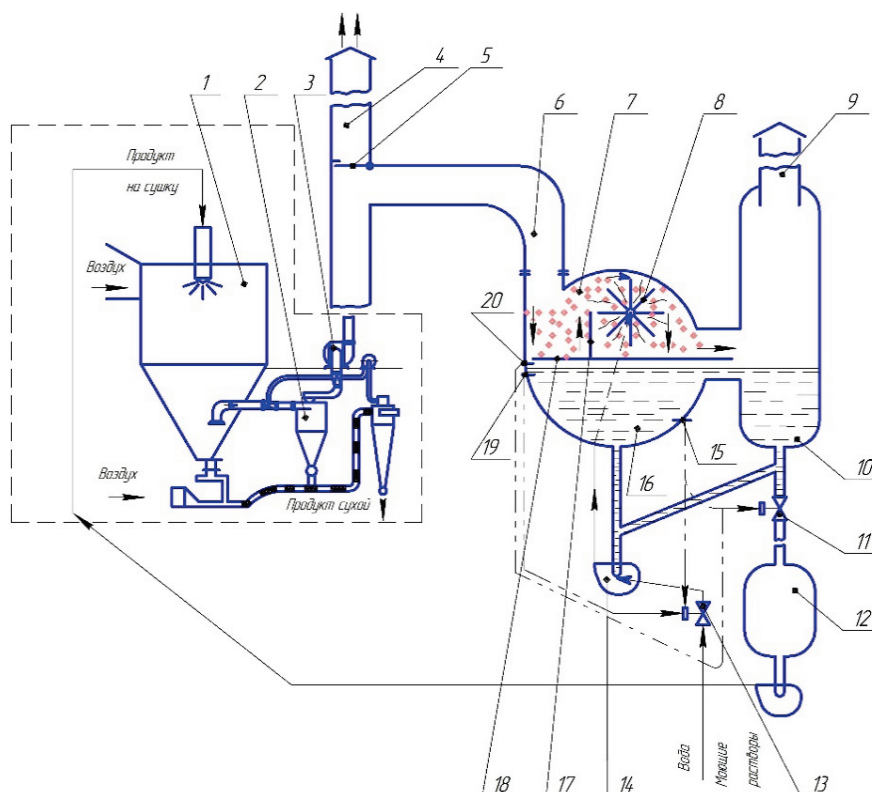
4. Системы аспирации и оборудования очистки теплоносителя. Весь теплоноситель вводимый в сушильную установку после нагрева в калориферах, с использованием пара, приготовленного в котельной или в камерах косвенного нагрева теплогенераторов, поступает в сушильную башню. Здесь выполняется процесс поглощения теплоносителем водяных паров, выделяющихся из капелек распыленного продукта.

Далее теплоноситель выводится в систему аспирации, практически всегда имеющей циклоны. В большинстве сушильных установок собственно циклоны являются единственными устройствами, предназначенными для отделения из теплоносителя частиц сухого продукта, и выведения его в основной объем продукта полученного в сушильной башне и дополнительных досушивающих устройствах — поясе псевдоожижения и инстантайзере, если сушильная установка работает соответственно в одно-, двух- и трехстадийном варианте.

Нами разработан и запатентован способ мокрого осаждения с использованием активного скруббера и доведением полученного раствора до показателей пригодных для непосредственной сушки его после накопления (патент РБ на изобретение №22658).

На рис. 2 изображена технологическая схема последовательности операций жидкостной очистки воздуха на выходе из распылительной сушильной установки 1, после ее вытяжного вентилятора 3. Двухпозиционный шибер 5 направляет поток воздуха в воздуховод 6, расположенный в зоне блокирования с скруббером 7 вертикально. Поток ударяется о смоченную поверхность контактной пластины 18 и направляемый пластиной 17 поступает к верхней половине ротора 8, где эффективно смачивается каплями и жидкостными пленками, образующимися лопастями ротора из жидкости, подаваемой к центральной оси его вращения насосом-диспергатором 14. В качестве смачивающей жидкости используется чистая горячая вода, заполняющая аппарат до начала работы по показаниям датчика рабочего уровня (РУ) 19, установленного с учетом возможности повышения уровня до верхнего (ВУ) 20 по мере растворения молочного порошка. Поток смоченного воздуха ротором направляется снова на контактную пластину 18 и под давлением выходит в тангенциально расположенное к корпусу окно циклона-каплеуловителя 10. Здесь происходит центробежное отделение жидкости от воздуха, который выходит в окружающую среду через верхнюю трубу 9 [20].

Жидкость, поступившая на контактную пластину 18, стекает с нее через щели у корпуса скруббера 7 в его поддон 16. Процесс продолжается до повышения уровня восстановленного жидкого молочного продукта до датчика верхнего уровня (ВУ) 20, место установки которого согласуется с достижением заданной концентрации раствора (35-50%). После этого автоматически открывается запорный орган вентиля 11 и раствор (восстановленный молочный продукт) самотеком поступает в буферный бак 12 сушильной установки, откуда подается на распылитель сушильной башни, где производится его сушка. По достижению нижнего уровня (НУ) 15, истечение восстановленного молочного продукта в буферный бак 12 прекращается перекрытием вентиля 11. Автоматически открывается вентиль 13 и емкости поддона 16 скруббера 7 и нижней емкостной части циклона-каплеуловителя 10 заполняются водой до достижения датчика рабочего уровня (РУ) 19, после чего вентиль 13 прекращает наполнение. Процесс очистки воздуха продолжается без остановки.



- 1 — сушильная установка; 2 — циклон; 3 — вытяжной вентилятор; 4,6 — воздуховоды;
5 — двухпозиционный шибер; 7 — скруббер; 8 — ротор; 9 — труба; 10 — циклон-каплеуловитель;
11,13 — вентили; 12 — буферный бак; 14 — насос-диспергатор; 15 — датчик нижнего уровня;
16 — поддон; 17,18 — пластины; 19 — датчик рабочего уровня; 20 — датчик верхнего уровня

Рис. 2. Способ жидкостной очистки воздуха на выходе из распылительной сушильной установки

Fig. 2. A method for liquid purification of air at the outlet of a spray drying unit

Установка аппарата после вытяжного вентилятора 3 сушильной установки 1 целесообразна в случае сушки кормовых молочных смесей (ЗЦМ). В этом случае после окончания сушки на сушильной башне и циклонах предварительной очистки воздуха 2 осуществляется штатная работа по обметанию, чистке, техническому обслуживанию. При этом двухпозиционный шибер 5 перекрывает воздухопровод 6, одновременно открывая воздухопровод 4, куда нагнетается выходящий из сушилки воздух. Аппарат очистки воздуха в это время моется с использованием моющих растворов, поступающих через вентиль 13 в соответствии с программой мойки.

Заключение. Проведены аналитические исследования технических характеристик используемых в Республике Беларусь распылительных сушильных установок. Проанализированы основные недостатки аппаратов для очистки отработанного теплоносителя после сушилок, применяемых при производстве сухих молочных продуктов. Рассмотрен дисперсный состав пыли сухого молока в отработанном воздухе после циклонов.

На основании проведенных исследований разработан способ жидкостной очистки воздушного потока от частиц молочной пыли на выходе из распылительной сушильной установки.

Список использованных источников

1. Раицкий, Г. Е. Энергоэффективность сушки молочных продуктов: монография / Г. Е. Раицкий, И. С. Леонович. — Гродно: УО ГГАУ, 2019. — 234 с.
2. Плаксин, Ю. М. Процессы и аппараты пищевых производств: учебное пособие / Ю. М. Плаксин, Н. Н. Малахов, В. А. Ларин. — М.: КолосС, 2007. — 760 с.
3. Леонович И. С. Оценка потерь продукта при работе сушилок распылительного типа / И. С. Леонович, Г. Е. Раицкий // Современные технологии сельскохозяйственного производства: материалы XVIII международной научно-практической конференции. Гродно: УО ГГАУ, 2015. — С. 268-269.
4. Варваров, В. В. Очистка теплоносителя при сушке пищевых продуктов: учебное пособие / В. В. Варваров, Г. Д. Дворецкий, К. К. Полянский. — Воронеж. Издательство университета. 1988. — 131 с.
5. Самсонов, В. Н. Совершенствование процесса использования теплоты отработанного воздуха на примере сушильных установок молочной промышленности: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.12 / В. Н. Самсонов. — М., 2003. — 174 с.
6. Остриков, А. Н. Процессы и аппараты пищевых производств. Учебник для вузов в 2 книгах/ книга 2 [А.Н. Острикова и др.]; под ред. А.Н. Острикова. — СПб.: ГИОРД, 2006. — 559 с.
7. Троцкая, Т. П. Экономия энергии при работе распылительных сушилок за счет снижения влажности сушащего агента/ Т. П. Троцкая, Г. Е. Раицкий, И. С. Леонович // Пищевая промышленность: наука и технология. — 2014. — №. 2. — С. 70-74.
8. Раицкий, Г. Е. К вопросу больших потерь при сушке молочных продуктов на распылительных сушилках / Раицкий Г. Е., Леонович И. С. // Сельское хозяйство — проблемы и перспективы. — 2015. — Т.31: Зоотехния. — С. 182-191.
9. Штокман, Е. А. Очистка воздуха от пыли на предприятиях пищевой промышленности: учебное пособие / Е. А. Штокман. — М.: Агропромиздат, 1989. — 311 с.
10. Раицкий, Г. Е. Совершенствование оборудования аспирации на распылительных сушильных установках / Г. Е. Раицкий, И. С. Леонович // Современные технологии сельскохозяйственного производства: м-лы XXV Международной научно-практической конференции. Гродно: УО ГГАУ, 2022. — С. 286-288.
11. Раицкий, Г. Е. Энергоэффективность использования распылительных сушильных установок в молочной промышленности / Г. Е. Раицкий, И. С. Леонович // Актуальные вопросы энергетики в АПК: мат. Всерос. науч.- практ. конф. с междунар. участием. Благовещенск: Дальневосточный гос. аграрный ун-т, 2019. — С. 29-31.
12. Раицкий, Г. Е. Технологическая оценка пылесадительных устройств систем аспирации распылительных сушилок / Г. Е. Раицкий, И. С. Леонович // Сельское хозяйство — проблемы и перспективы. — 2017. — Т. 37: Зоотехния. — С. 235-240.
13. Раицкий, Г. Е. Разработка и задачи исследования установки для очистки теплоносителя распылительной сушилки перед выпуском в атмосферу / Г. Е. Раицкий, И. С. Леонович // Сельское хозяйство — проблемы и перспективы. — 2018. — Т. 41: Зоотехния. — С. 230-237.
14. Леонович, И. С. Повышение эффективности циклонирования пыли на сушильных установках / И. С. Леонович, Г. Е. Раицкий // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. — 2023. — №1(20). — С. 34-43.
15. Леонович, И. С. Эффективность очистки отработанного воздуха циклонами на примере распылительных сушилок молочной промышленности / И. С. Леонович, Г. Е. Раицкий // Современные технологии сельскохозяйственного производства: м-лы XVIII международной научно-практической конференции/ УО «ГГАУ». Гродно, 2015. — С. 269-271.

16. Раицкий, Г. Е. Направления совершенствования конструкции циклонов системы аспирации распылительных сушилок / Г. Е. Раицкий, И. С. Леонович // Современные технологии сельскохозяйственного производства: м-лы XX международной научно-практической конференции/ УО «ГГАУ». Гродно, 2017. — С. 124-126.
17. Кавецкий, Г. Д. Процессы и аппараты пищевой промышленности: учебное пособие / Г. Д. Кавецкий, В. П. Касьяненко. — М.: КолосС, 2008. — 591 с.
18. Раицкий, Г. Е. Оценка аппаратов очистки воздуха на выходе из сушильной башни распылительных сушильных установок / Г. Е. Раицкий, И. С. Леонович, Н. М. Девочка // Современные технологии сельскохозяйственного производства: м-лы XIX международной научно-практической конференции/ УО «ГГАУ». Гродно, 2016. — С. 333–335.
19. Леонович, И. С. Анализ и разработка устройств мокрого осаждения молочной пыли/ И. С. Леонович, Г. Е. Раицкий // Актуальные вопросы энергетики в АПК: мат. всерос. науч.- практ. конф. с междунар. участием Благовещенск: Дальневосточный гос. аграрный ун-т, 2019. — С. 78-81.
20. Раицкий, Г. Е. Способ жидкостной очистки воздушного потока от частиц молочной пыли на выходе из распылительной сушильной установки. / Г. Е. Раицкий, И. С. Леонович, Н. В. Дубровская // Патент РБ на изобретение №22658., В 01D 47/16/, опубли. 30.08.2019.

Информация об авторах

Леонович Игорь Сергеевич, старший преподаватель кафедры физико-математических дисциплин и технического обеспечения производства и переработки продукции животноводства УО «Гродненский государственный аграрный университет» (ул. Терешковой 22, г. Гродно, Республика Беларусь).

E-mail: leonovich-igor@mail.ru.

Раицкий Георгий Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент кафедры физико-математических дисциплин и технического обеспечения производства и переработки продукции животноводства УО «Гродненский государственный аграрный университет» (ул. Терешковой 22, г. Гродно, Республика Беларусь).

E-mail: georgijraickij@gmail.ru

Information about authors

Leonovich Igor Sergeevich, Senior Lecturer of the Department of Physical and Mathematical Disciplines and Technical Support of the Production and Processing of Livestock Products of the Grodno State Agrarian University (22 Tereshkova St., Grodno, Republic of Belarus).

E-mail: leonovich-igor@mail.ru.

Raitsky Georgy Evgenievich, PhD (Engineering), Associate Professor of the Department of Physical and Mathematical Disciplines and Technical Support of the Production and Processing of Livestock Products of the Grodno State Agrarian University (22 Tereshkova St., Grodno, Republic of Belarus).

E-mail: georgijraickij@gmail.ru