



2018

НАУКОВІ ПРАЦІ НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Том 24 № 6

*Журнал
«Наукові праці Національного університету харчових технологій»
засновано в 1993 році*

КИЇВ ♦ НУХТ ♦ 2018

Articles with the results of fundamental theoretical developments and applied research in the field of technical and economic sciences are published in this journal. The scripts of articles are reviewed beforehand by leading specialists of corresponding branch.

The journal was designed for professors, tutors, scientists, post-graduates, students of higher education establishments and executives of the food industry.

Journal "Scientific Works of National University of Food Technologies" is included into the list of professional editions of Ukraine of technical and economic sciences (Decree of MES of Ukraine # 241 from September 3, 2016), where the results of dissertations for scientific degrees of PhD and candidate of science can be published.

The Journal "Scientific Works of National University of Food Technologies" is indexed by the following scientometric databases:

- Index Copernicus
- EBSCOhost
- CABI Full Text
- Universal Impact Factor
- Google Scholar

The Journal is recommended for publication of research results by the Ministry of Science and Higher Education of Poland.

Editorial office address:

National University of
Food Technologies
Volodymyrska str., 68,
building B, room 412
01601 Kyiv, Ukraine

Recommended for publication by the Academic Council of the National University of Food Technologies. Minutes of meeting # 5 from 27th of December, 2018

© NUFT, 2018

У журналі публікуються статті за результатами фундаментальних теоретичних розробок і прикладних досліджень у галузі технічних та економічних наук. Рукописи статей попередньо рецензуються провідними спеціалістами відповідної галузі.

Для викладачів, наукових працівників, аспірантів, докторантів і студентів вищих навчальних закладів, керівників підприємств харчової промисловості.

Журнал «Наукові праці Національного університету харчових технологій» включено в перелік наукових фахових видань України з технічних та економічних наук (Наказ МОН України № 241 від 09.03.2016), в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук.

Журнал «Наукові праці Національного університету харчових технологій» індексується такими наукометричними базами:

- Index Copernicus
- EBSCOhost
- CABI Full Text
- Universal Impact Factor
- Google Scholar

Журнал рекомендовано Міністерством науки і вищої освіти Польщі для публікації результатів наукових досліджень.

Адреса редакції:

Національний університет
харчових технологій
вул. Володимирська, 68,
корпус Б, к. 412,
м. Київ, 01601

Рекомендовано вченою радою Національного університету харчових технологій.
Протокол № 5 від 27 грудня 2018 року

© НУХТ, 2018

Редакційна колегія

Склад редакційної колегії журналу

«Наукові праці Національного університету харчових технологій»

Головний редактор Editor-in-Chief

Анатолій Українець
Anatoliy Ukrainets

д-р техн. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food
Technologies, Ukraine

Заступник головного редактора Deputy chief editor

Олександр Шевченко
Olexander Shevchenko

д-р техн. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food
Technologies, Ukraine

Відповідальний секретар Accountable secretary

Юрій Пенчук
Yuriy Penchuk

канд. техн. наук, доц., Україна
Ph. D. As., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Члени редакційної колегії:

Анатолій Зайнчковський
Anatoly Zainchkovskiy

д-р екон. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Анатолій Ладанюк
Anatoly Ladanyuk

д-р техн. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Анатолій Сайганов
Anatoly Sayganov

д-р екон. наук, проф., Білорусь
Ph. D. Hab., Prof., Institute of System Research in
Agroindustrial Complex of NAS of Belarus, Belarus

Анжей Ковальський
Anzhey Kowalski

д-р екон. наук, проф., Польща
Ph. D. Hab., Prof., Institute of Agricultural and Food Economics,
Poland

Брайан Мак Кенна
Brian McKenna

д-р техн. наук, проф., Ірландія
Ph. D. Hab., Prof., University College Dublin, Ireland

Василь Пасічний
Vasyl Pasichnyi

д-р техн. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Віктор Доценко
Victor Dotsenko

д-р техн. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Віра Оболкіна
Vera Obolkina

д-р техн. наук, Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Віктор Ємцев
Viktor Yemtsev

д-р екон. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food
Technologies, Ukraine

Володимир Зав'ялов
Volodymyr Zavialov

д-р техн. наук, Україна
Ph. D. Hab., National University of Food Technologies,
Ukraine

Галина Полішук
Halyna Polishchuk

д-р техн. наук, проф., Україна
Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Герхард Шльонінг Gerhard Schleining	д-р техн. наук, Австрія Ph. D. Hab., Prof., University of Natural Resources, Austria
Дайва Лескаускайте Daiva Leskauskaite	д-р техн. наук, проф., Литва Ph. D. Hab., Prof., Kaunas University of Technology, Lithuania
Іван Малезик Ivan Malezhyk	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Кристина Сильва Cristina L.M.Silva	д-р техн. наук, проф., Португалія Ph. D. Hab., Prof., University de Catolica, Portuguesa
Лада Шірінян Lada Shirinyan	д-р екон. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Лариса Арсеньєва Larisa Arsenyeva	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Микола Прядко Mykola Pryiadko	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Наталія Гусятинська Natalia Gusyatyńska	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олександр Бутнік-Сіверський Oleksandr Butnik-Siverskyi	д-р екон. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олександр Литвиненко Oleksandr Lytvynenko	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олександр Перепелиця Oleksandr Perepelitsa	д-р хім. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Паола Піттія Paola Pittia	д-р техн. наук, проф., Італія Ph. D. Hab., Prof., University of Teramo, Italy
Петро Шиян Petro Shyian	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Саверіо Манніно Saverio Mannino	д-р хім. наук, проф., Італія Ph. D. Hab., Prof., University of Milan, Italy
Світлана Бондаренко Svitlana Bondarenko	д-р хім. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Хууб Лелієвельд Huub Lelieveld	Нідерланди Ph. D. Hab., Prof., President of the Global Harmonization Initiatives, Netherlands

ЗМІСТ

Автоматизація та інформаційні технології
Чаплінський Ю.П. Сучасна роль контексту при прийнятті рішень 7

Луцька Н.М. Енергоефективність робастно-оптимальних систем керування технологічними об'єктами 16

Безуглов А.О., Ладанюк А.П. Інформаційне забезпечення системи керування буряко-переробним відділенням цукрового заводу 24

Біотехнологія і мікробіологія

Данилюкович А.Г., Білінський С.О. Інноваційні технології виробництва еластичних шкіряних матеріалів 32

Ребрикова П.А., Шидловська О.А., Жолобак Н.М., Мокроусова О.Р. Біотехнологічні аспекти очищення стічних вод підприємств, що переробляють продукти тваринництва 42

Пирог Т.П., Никитюк Л.В., Кондрашевська К.Р., Ключка І.В. Руйнування біоплівок за дії поверхнево-активних речовин, синтезованих *Nocardia vaccinii* IMB B-7405 на відходах виробництва біодизелю 50

Охмат О.А., Мокроусова О.Р., Майстренко Л.А. Білкові трансформації у біополімерах тваринного походження 59

Шаповалов Є.Б., Жадан С.О., Салюк А.І., Котинський А.В. Регулювання концентрації амонійного азоту при метановій ферментації курячого посліду в умовах рециркуляції рідкої фази 65

Економіка і соціальний розвиток

Омельченко К.Ю., Соломка О.М. Україна: країна економічних проблем чи можливостей 73

Процеси і апарати харчових виробництв
Бурдо О.Г., Безбах І.В., Зиков О.В., Шишов С.В. Дослідження впливу режимних і конструктивних параметрів при обробці в'язких та дисперсних продуктів в апаратах на базі ротаційних термосифонів 80

Стадник І.Я., Федак С.І., Пащенко Б.С., Ткачук Н.А. Методика розрахунку оптимальних параметрів валкового розкачування 90

Соколенко А.І., Шевченко О.Ю., Степанець О.І. Експериментальні дослідження процесів десорбції спирту з водних розчинів 100

Сардаров А.М., Маяк О.А., Шершньов Г.Г. Дослідження структурних характеристик і кінетики процесу сушіння рослинної сировини у вібраційній вакуумній сушарці 110

Тепло- і енергопостачання

Якимчук М.В., Гавва О.М., Кривопляс-Володіна Л.О., Якимчук В.М. Рекуперація енергії в пневматичному приводі функціонального мехатронного модуля накопичення шарів вантажів 119

CONTENTS

Automation and Information Technologies
Chaplinsky Y. The modern role of context in decision-making 7

Lutska N. Energy efficiency of robust-optimal systems of control of technological objects 16

Bezuhlov A., Ladanyuk A. Informational supply of the control system at the beetprocessing department of the sugar factory 24

Biotechnology and Microbiology

Danylkovych A., Bilinskii S. Innovative technologies for the production of elastic leather materials 32

Rebrykova P., Shydlovskaya O., Zholobak N., Mokrousova O. Biotechnological aspects of wastewater treatment of enterprises that process livestock products 42

Pirog T., Nikitiuk L., Kondrashevska K., Kluchka I. Destruction of biofilms under action of surfactants synthesized by *Nocardia vaccinii* IMV B-7405 on waste of biodiesel production 50

Okhmat O., Mokrousova O., Maistrenko L. Transformations of protein in polymers of animal origin 59

Shapovalov Ye., Zhadan S., Salyuk A., Kotinskiy A. Regulation of the ammonia nitrogen concentration at the methane fermentation of chicken manure under conditions of the liquid phase recirculation 65

Enterprise Economy and Social Development
Omelchenko K., Solomka O. Ukraine: a land of economic problems or opportunities 73

Processes and Equipment for Food Industries
Burdo O., Bezbakh I., Zikov O., Shishov S. Research on the impact of modified and constructive parameters in the processing of viscous and dispersion products in apparatus on the rotational thermosyphon base 80

Stadnyk I., Fedak S., Pashchenko B., Tkachuk N. Methods of calculation of optimal parameters of rolling 90

Sokolenko A., Shevchenko O., Stepanets O. Experimental investigations of alcohol desorption processes from water solutions 100

Sardarov A., Mayak O., Shershnev G. Research of structural characteristics and kinetics of drying process raw material in vibration vacuum dryer 110

Heat and Electricity

Iakymchuk M., Gavva O., Kryvopliash-Volodina L., Yakymchuk V. Recuperation of energy in the pneumatic drive of the functional mechatronic module of accumulation of layer of cargo 119

Вольчин І.А., Гапонич Л.С. Викиди діоксиду вуглецю на українських вугільних теплових електростанціях

Фізико-математичні науки

Король А.М., Медвідь Н.В., Вишняк В.В., Литвинчук С.І. Провідність контакту: надпровідний графен з d-хвильовим спарюванням — нормальний графен з різними швидкостями Фермі

Харчові технології

Кочубей-Литвиненко О.В., Пасічний В.М., Юценко Н.М., Яценко О.В., Кузьмик У.Г. Перспективи використання ізоляту горохового протеїну у технології масляних паст

Українець А.І., Шиян П.Л., Булій Ю.В., Куц А.М. Підвищення ефективності брагоректифікаційних установок

Михайлов В.М., Самохвалова О.В., Олійник С.Г., Гревцева Н.В., Загорулько О.Є., Загорулько А.М. Перспективи створення технологій оздоровчих хлібобулочних і кондитерських виробів на основі нетрадиційної рослинної сировини

Пешук Л.В., Іванова Т.М., Радзівська І.Г. Наукові пошуки можливості стабілізації якості жирів з включенням нативної кверцетинвмісної сировини

Токар А.Ю., Гайдай І.В., Юшина О.Ю., Войцехівський В.І. Формування якості некріплення сунічних виноматеріалів за використання різних рас дріжджів

Бортнічук О.В., Білик О.А., Доценко В.Ф., Ковбаса В.М. Хлібобулочні вироби геродіетичного призначення, збагачені вітаміном D

Дітріх І.В., Ільчук Н.В., Єфимович П.С. Рибовочеві шніцелі функціонального призначення

Рідкоус В.В. Визначення бродильної активності дріжджів за вуглекислим газом манометричним методом

Юрчак В.Г., Нощенко Т.І., Паливода С.Д., Голикова Т.П. Дослідження процесу приготування пшеничних заквасок з використанням стартової культури LV1 для поліпшення якості хліба і здобних виробів

Сімахіна Г.О., Науменко Р.Ю. Модифікація харчових продуктів: багатоваріантність підходів та пріоритети

Шаркова Н.О., Турчина Т.Я., Жукотський Е.К., Декуша Г.В. Мікроструктурний аналіз грибної суспензії на стадії підготовки до розпилювального сушіння

Устименко І.М., Поліщук Г.С. Розробка нового виду молоковомісного морозива, збагаченого купажованою олією

Зміст журналу «Наукові праці Національного університету харчових технологій» за 2018 рік

131 Volchyn I., Haponych L. Carbon dioxide emissions at the Ukrainian pulverized-coal thermal power plants

Physical and Mathematical Sciences

143 Korol A., Medvid N., Vyshniak V., Litvynchuk S. Conductivity of the junction: d-wave pairing superconductive graphene — normal graphene with different Fermi velocity

Food Technology

153 Kochubei-Lytvynenko O., Pasichnyi V., Yushchenko N., Yatsenko O., Kuzmyk U. Prospects of usage of pea protein isolate in buttery pastes technology

160 Ukrainets A., Shiyani P., Buliy Y., Kuts A. Improving the efficiency of distillation and rectification equipment

167 Mykhaylov V., Samokhvalova O., Oliynyk S., Grevtseva N., Zagorulko A., Zahorulko A. Perspectives for the development of technologies of healthy bakery and confectionery products based on non-traditional plant raw materials

174 Peshuk L., Ivanova T., Radzievska I. Scientific results of the possibility of stabilization of pork fat on the native quercetin containing raw material

179 Tokar A., Haidai I., Yoshyna O., Voitsechivskyi V. Quality formation of unfortified strawberry wine materials under application of different yeast races

188 Bortnichuk O., Bilyk O., Dozenko V., Kovbasa V. Gerodietetic bakery products enrichment vitamin D

202 Ditrikh I., Ilchuk N., Yefymovych P. Fish and vegetables schitzel for functional purpose

211 Ridkous V. Determination of fermentative yeast activity by carbon dioxide by manometry method

220 Yurchak V., Noshchenko T., Palyvoda S., Golikova T. Investigation of wheat sourdough preparation with using of starter LV1 for increasing of sweet dough quality

232 Simakhina G., Naumenko R. Modification of foodstuffs: variability of approaches and priorities

240 Sharkova N., Turchyna T., Zhukotskyi E., Dekusha H. Microstructure analysis of mushroom suspension at preparation stage before spray drying

248 Ustymenko I., Polischuk G. Development of a new type of milk-containing ice-cream enriched with blended oil

256 **Contents of the journal “Scientific Works of the National University of Food Technologies” for 2018**

THE MODERN ROLE OF CONTEXT IN DECISION-MAKING

Y. Chaplinsky

V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of NAS of Ukraine

Key words:

Decision-support system

Decision-making

Context

Knowledge management

Article history:

Received 05.11.2018

Received in revised form

16.11.2018

Accepted 12.12.2018

Corresponding author:

Y. Chaplinsky

E-mail:

npnuht@ukr.net

ABSTRACT

Modern decision-making with the use of knowledge-based technologies is seen as a powerful competitive advantage at the enterprise, focused on permanent changes in business processes. The activities of both individuals and systems are increasingly depend on the use of knowledge as one of the most valuable resources. The complexity of implementing such decision-making is the need to synthesize different points of view on the problem, use of terms and concepts from various subject areas, description of own ideas to manage with a large amount of information relevant to the problem, and understanding of the problem decisions etc. Decision-making and integration of the components of decision-making are based on the representation of multi-level governance and decision-making through the context model. The presented approach is aimed at building a context model representing the problem(s) to be solved by the decision support system.

Context describes factors which influence the problem and provides requirements to solutions to be generated for the decision maker. The context in the paper is defined as a collection of objects in which each object has a set of names and relations, and represents a construct consisting of concepts within the context areas and is described by the context ontology. The context ontology takes into account different context areas, such as: purpose/ result, factor, process/action, object, medium, facility, tools, presentation, location, and time. Objects, relationships, and attributes are used to represent contextual domains. Contextual concepts are interconnected through relationships, including intradomain, interdomain and intercontextual relationships. Possible contextual relationships between contextual domains that can be structural (hierarchical) and semantic (associative) are presented.

DOI: 10.24263/2225-2924-2018-24-6-3

СУЧАСНА РОЛЬ КОНТЕКСТУ ПРИ ПРИЙНЯТТІ РІШЕНЬ

Ю.П. Чаплінський

Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України

Прийняття рішень з використанням знання-орієнтованих технологій сьогодні розглядається як потужна конкурентна перевага на підприємстві,

орієнтованому на постійні зміни ділових процесів. Діяльність як окремих людей, так і систем зараз все більшою мірою залежить від використання ними знань як одного з найцінніших ресурсів. Складність у реалізації такого прийняття рішень полягає в необхідності синтезу різних точок зору на проблему, використання термінів і понять з різних предметних галузей, опису своїх ідей управління великою кількістю інформації, що стосується проблеми, та розуміння рішень, що приймаються, тощо. Прийняття рішень та інтеграція складових прийняття рішень базується на представленні багаторівневого управління та прийняття рішень за допомогою контекстної моделі. Розроблений підхід спрямований на побудову контекстної моделі, що представляє проблему, яку потрібно розв'язати за допомогою системи підтримки прийняття рішень. Контекст описує чинники, що впливають на проблему, і забезпечує вимоги до рішень, які необхідно створити для осіб, що приймають рішення.

У статті контекст визначається як сукупність об'єктів, в рамках яких кожен об'єкт має множину імен та відношень, являє конструкцію, що складається з понять у межах відповідних контекстних областей і описується онтологією контексту. У рамках такого розгляду онтологія контексту включає такі контекстні області: мета/результат, фактор, процес/дія, об'єкт, середовище, можливості, засоби, представлення, розташування та час. Для представлення контекстних областей використовуються класи об'єктів, відношень та атрибутів. Контекстні поняття взаємозв'язані між собою через контекстні відношення, включаючи внутрішньобласні, міжобласні та міжконтекстні відношення. Представлені можливі контекстні відношення між контекстними областями, які можуть бути структурними (ієрархічними) та семантичними (асоціативними).

Ключові слова: система підтримки прийняття рішень, прийняття рішень, контекст, управління знаннями.

Постановка проблеми. Діяльність як окремих людей, так і систем зараз все більшою мірою залежить від використання ними знань як одного з найцінніших ресурсів. Сучасні розв'язки прикладних задач є результатом поєднання та інтеграції знань, розуміння та ідей розв'язання множин взаємозв'язаних задач із різних предметних областей, кожна з яких має свої специфічні передумови. Складність у реалізації прийняття рішень полягає в необхідності синтезу різних точок зору на проблему, використання термінів і понять з різних предметних областей, для опису своїх ідей управління великою кількістю інформації, що стосується проблеми, та розуміння рішень, що приймаються, тощо.

Фундаментальні виклики, що стоять перед прийняттям рішень, виявляються у побудові спільного розуміння поставленого завдання (яке часто не існує заздалегідь, але формулюється поетапно та спільно). При цьому необхідно розуміти відношення між елементами середовища прийняття рішень.

Прийняття якісних рішень відбувається як через горизонтальні перехресні вузли, так і через вертикальні перехресні ієрархічні зв'язки, при цьому можли-

ве отримання раніше недоступної інформації, що в подальшому дає змогу розвивати нові знання та розуміння.

Для цього всі знання, що використовуються, розглядаються в розрізі знань, що описують контекст, та знань, що описують контент.

Контекст є важливим фактором у процесі прийняття рішень, допомагає визначити, яка інформація необхідна для підтримки прийняття рішень і являє собою множину взаємопов'язаних компонентів.

Розгляд використання контексту в проблемних областях допомагає виявити всі семантичні відношення, надати всю необхідну інформацію та правильні інтерпретації для прийняття рішень, оскільки використання інформації в процесі прийняття рішень, як правило, відбувається в контексті складної структури процесу прийняття рішень, який часто формується за допомогою цілого ряду чинників.

Це вимагає створення нових способів отримання та представлення знань про контекст проблеми й відповідного процесу прийняття рішень, взаємодії складових тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існуючі дослідження щодо контексту використовують різні підходи для визначення контексту та його використання.

У галузі інформаційних технологій контекст вивчався в таких сферах, як знання та різні інформаційні системи для динамічної обробки складних знань [1] або створення інтелектуальних інтерфейсів користувача [2], в яких відбувається цілеспрямована діяльність [2; 3]. В подальшому почали визначати контекст як будь-яку інформацію, яка може зафіксувати ситуацію. В [4] розглянуто декілька сотень праць та запропонована модель контексту, що містить компоненти користувач, об'єкт, спостерігач і навколишнє середовище та різні відношення між цими компонентами. В [3] визначено, що контекст розглядається як представлення проблеми, беручи до уваги такі властивості контексту [3; 5]:

- контекст — це форма інформації, тобто контекст розглядається як те, що може бути відоме, представлене та закодоване;
- контекст є вичерпним, тобто вважається можливим визначити, що заздалегідь визначається як контекст для конкретного використання;
- контекст є стабільним, тобто коли контекст може відрізнитися від застосування до програми, він не відрізняється від екземпляра до примірника взаємодії з додатком;
- контекст і діяльність є розділеними, тобто контекст використовується для опису особливостей середовища, в межах якого здійснюється діяльність, але елементи діяльності не відносяться до самого контексту та не розглядаються як контексти.

Проте не існує загальновизнаного визначення контексту у сферах, пов'язаних з прийняттям рішення.

У [6] представлено три класи контекстних моделей, що базуються на застосуванні, моделях та онтології. Так, модельні підходи побудовані на основі концептуалізації області прийняття рішень, що використовує стандартні репрезентативні структури (наприклад, об'єктно-рольові моделі (ORM), уніфі-

ковану модельну мову (UML) та моделі сутностей-відносин (ER моделі)). Останній клас контекстних моделей ґрунтується на представленнях знань, що формалізовані в онтологіях.

Під онтологією будемо розуміти систему, що описує структуру певної проблемної області або множини проблемних областей та складається з множини класів понять, зв'язаних відношеннями, їх визначень та аксіом, що задають обмеження на інтерпретацію цих понять в рамках певної проблемної області або їх множини [7]. Мета такої онтології полягає в тому, щоб забезпечити інтегровану концептуальну основу. Це дасть змогу визначити, зрозуміти, структурувати та представляти явища при прийнятті рішень за допомоги СППР.

Проте рішення щодо того, яка інформація необхідна для розв'язання задачі, в цих підходах повинно бути визначене на етапі формулювання проблеми та процесу прийняття рішень. Окрім того, мало уваги приділялося динамічним аспектам контексту.

Мета дослідження: аналіз сучасного використання контексту для інтегрованого структурованого представлення складових прийняття рішень, їх взаємодії та реалізації знань-орієнтованого прийняття рішень.

Викладення основних результатів дослідження. Під підтримкою прийняття рішень слід розуміти інтелектуальну комп'ютерну технологію посилення можливостей людини, що приймає рішення (ЛПР) в процесі спостереження за станом проблемної області, діагностики проблемних ситуацій і цілей дій, планування дій і генерацію способів їх реалізації, формування раціональних варіантів рішень з використанням експертних знань і методів моделювання та оптимізації. Область прийняття рішень будемо розглядати як багаторівневу структуру, що включає область проблем, область моделей, область методу та область реалізацій. Область прийняття рішень можна декомпонувати на елементарні об'єкти, кожен з яких описується сукупністю атрибутів. В рамках такого розгляду необхідно визначити поняття та конструкції, за якими можуть бути визначені природа, структура та представлення процесу формування та прийняття рішень і відповідних складових областей, що описують такий процес.

Базуючись на цьому, реалізація процесів прийняття рішень звертається до осіб, організаційних одиниць, посад, ролей, задач, ресурсів, об'єктів та їх відношень відповідним чином. Реалізація процесів прийняття рішень та інтеграція складових прийняття рішень, у свою чергу, базується на представленні багаторівневої системи управління та прийняття рішення в ній через модель певного контексту.

Слід зауважити, що, по-перше, контекст є невід'ємною властивістю випадків взаємодії, а не є стабільним об'єктивним набором функцій, які зовнішньо характеризують діяльність. Контекст залишається критично важливим для розуміння, контекстуалізації та непорозуміння форм діяльності та інформації, але саме в контексті природи необхідно постійно домовлятися та переглянути його. По-друге, ці контекстні властивості беруть на себе їх значення або релевантність через їхній зв'язок з формами практики, тобто діями навколо артефактів та інформації, яка робить ці артефакти значущими й актуальними

для людей. Тоді сенс технології не може бути відірваний від способів використання його людьми.

При цьому контекстна модель повинна охоплювати компоненти відповідних об'єктів. Основними компонентами такої моделі є: елемент, користувач, спостерігач, середовище та інші контексти, пов'язані з ними. Контекст повинен охоплювати принаймні частини цих компонентів.

Тож контекст можна охарактеризувати так: виникає через простір і час; причинно-наслідковий процес прийняття рішень; визначений, але не обов'язково передбачуваний; семантична інтерпретація відносин між актором, завданням або діяльністю та середовищем, в яких вони знаходяться; обмежувальні критерії, за допомогою яких можна моделювати цілеспрямовану діяльність.

Під контекстом будемо розуміти будь-яку інформацію, яка може бути використана або характеризує відповідну складову процесу розв'язання проблемних задач. Наше представлення контексту складається зі змісту, що базується на онтологіях, які охоплюють певну частину моделі контексту.

Такий погляд використовує іншу позицію по кожному з чотирьох перерахованих вище припущень: по-перше, замість того, щоб розглядати контекст як інформацію, можна стверджувати, що контекстуальність є реляційною властивістю, яка визначається між об'єктами або діями. Це не просто те, що щось є або не є контекстом; Навпаки, вона може або не може бути контекстуально актуальною для певної діяльності. По-друге, можна стверджувати, що обсяг контекстних функцій визначається динамічно. По-третє, можна стверджувати, що контекст є особливим для кожного випадку діяльності або дії. Контекст — це властивість, пов'язана з певними налаштуваннями, окремими випадками дії та особами, що беруть участь у цій дії. По-четверте, щоб контекст та вміст стали двома відокремленими об'єктами, він замість цього стверджує, що контекст виникає в результаті діяльності. Іншими словами, те, що я хочу зробити тут, полягає в тому, щоб переглянути контекст не як проблему представлення, а як проблему взаємодії.

Модель контексту передбачає суб'єктивний погляд на розв'язання певної ситуації. На відміну від існуючих підходів, де контекст описується в монолітному сенсі або як певна ситуація, необхідно вважати, що будь-який вибір контекстних параметрів та їх питома вага в описі ситуації повинні бути предметом практики.

Оскільки контекстні моделі — це представлення про динамічні умови та відношення, вони базуються на даних, що отримані з різних джерел з різнорідними часовими, тематичними та просторовими якостями.

Контекстні моделі мають вирішувати такі проблеми з даними, що використовуються для визначення контекстно-обґрунтованих ситуацій:

- неоднорідність та мобільність;
- відносини та залежності;
- своєчасність;
- недосконалість;
- міркування;
- відповідність формалізму прийняття рішень;
- ефективне контекстне забезпечення.

Обмеження контексту має важливе значення, інакше проблема створення контекстної моделі буде незрозумілою. Обмеження контексту також зменшує складність часу обчислення потенційних рішень для діяльності. Ми використовуємо такі обмежувальні критерії: наявність даних — наявність або відсутність; повнота; набори включення / виключення; часові межі; просторові межі; область діяльності.

Контекст розглядається як динамічні відношення між актором, ціле-спрямованим завданням та оточенням, в яких вони знаходяться. Такий розгляд дає змогу контекстним зв'язкам виникати, змінюватися або зникати через час і простір та охоплювати складність просторово-часової динаміки. Ми застосовуємо таке представлення контексту, оскільки воно забезпечує моделювання контекстної динаміки, що виникає в процесі розв'язання задачі, а не тільки вибирається на етапі формулювання проблеми та процесу розв'язання задачі.

Практика являє собою повторюваний візерунок, який можна заповнити різними заходами, і позначає контекстуальні характеристики набору заходів, включаючи форму діяльності, модель взаємодії, інструменти та їх використання, а також деякі форми знання.

Модель контексту передбачає суб'єктивний погляд на проблемні рішення ситуації. На відміну від існуючих підходів, де контекст описується в монолітному сенсі або як певна ситуація, ми вважаємо, що будь-який вибір контекстних параметрів і їхня питома вага в описі ситуації повинні бути предметом переважаючих практики. Отже, ми моделюємо контекст з практичної точки зору та представляємо структуру контексту, яка успадковується від традиційних моделей контексту [2; 3].

Тож контекст можна розглядати як будь-яку інформація, яка може бути використана для опису ситуації, в якій щось існує чи відбувається, та яка може допомогти пояснити ситуацію. Ця ситуація залежить від знань, світогляду, практики та обставин, які можуть бути використані для побудови «нескінченної і частково відомої сукупності припущень» [8], що утворюють інтегральне рішення проблем підходи організації або групи осіб, і які забезпечують для і всередині організації або групи схеми для створення, підтримки та застосування знань.

При цьому різні контексти можна формалізувати та інтегрувати в множину різнорідних об'єктів, застосовучи правила мосту (через певні відношення). Контекстна модель відображає міркування з частковим знанням.

Така контекстна модель може бути використана як допомога для моделювання контексту для прийняття рішень. Проте для досягнення трьох функцій контексту, тобто синтаксису, семантичної та прагматичної функції, потрібно розглянути питання про предствлення цих компонентів семантично та прагматично.

Базуючись на цьому, будемо розглядати контекст як концептуальну або інтелектуальну конструкцію, яка складається з понять в межах відповідних контекстних областей та допомагає нам зрозуміти, проаналізувати й використовувати природу, значення та ефекти через елементарні сутності у відпо-

відному середовищі або обставинах. Також контекст представляє ціле, що визначається через певні сутності, які є важливими при такому розгляді.

Об'єкт може бути пов'язаним з іншим контекстом, що ми називаємо посиленням. Імена та посилання є контекстно-залежними.

Контекст складається з ідентифікатора контексту C та множини ідентифікаторів об'єктів, які позначаються $Objs(C)$, так що кожне $O \in Objs(C)$ пов'язане з:

1. Множиною імен, які називаються іменами O в C , і позначається іменами (O, C) .
2. Більш одного контекстного ідентифікатора, що називається посиланням або відношенням O в C , і позначається $ref(O, C)$.

Якщо $O \in Objs(C)$ не пов'язане з контекстом ідентифікатора, то посилання $ref(O, C)$ вважається невизначеним.

Формально будемо розглядати контекст як конструкцію, що складається з понять у межах відповідних контекстних областей та описується онтологією контексту через таку структуру контекстних областей [9]:

$$O_{ctx} = \langle O_{ctx}^{AR}, O_{ctx}^A, O_{ctx}^{PA}, O_{ctx}^O, O_{ctx}^E, O_{ctx}^F, O_{ctx}^{Fclt}, O_{ctx}^R, O_{ctx}^{Plc}, O_{ctx}^T \rangle.$$

На загальному рівні O_{ctx} описується такими контекстними областями: O_{ctx}^{AR} — мета/результат, O_{ctx}^A — актор, O_{ctx}^{PA} — процес/дія, O_{ctx}^O — об'єкт, O_{ctx}^E — середовище, O_{ctx}^F — можливості, O_{ctx}^{Fclt} — засоби, O_{ctx}^R — представлення, O_{ctx}^{Plc} — розташування, O_{ctx}^T — час.

Так, O_{ctx}^{AR} складається з понять та конструкцій, які відносяться прямо або побічно до цілей, спонукань або намірів, бажаних результатів чогось або певної сутності. O_{ctx}^A складається з понять та конструкцій, які звертаються до окремої людини, групи, посади або організаційної системи, соціальної системи, технічної системи, програмного забезпечення. O_{ctx}^{PA} складається з понять та конструкцій, які звертаються до процесів, умов, функцій, операцій, задач тощо в контексті. O_{ctx}^O складається з понять та конструкцій, які звертаються до чогось, для чого призначена або на що спрямована дія. O_{ctx}^E складається з понять та конструкцій, які представляють, де та в яких умовах відбувається щось. O_{ctx}^F складається з понять та конструкцій, які представляють, що і де ми можемо використати. O_{ctx}^{Fclt} складається з понять та конструкцій, які визначають, як щось може бути застосоване або зроблене та що може бути використане. O_{ctx}^R складається з понять та конструкцій, які відносяться до форми представлення чогось. O_{ctx}^{Plc} складається з понять та конструкцій, які звертаються до частини місця, зайнятого чимось або чимось. O_{ctx}^T складається з понять та конструкцій, які звертаються до часових аспектів у контексті.

Для представлення контекстних областей будемо використовувати класи об'єктів, відношень та атрибутів, що дає можливість представляти їх як семантичні аспекти, де семантика умов і відношень між ними визначені явним чином (таким чином роблячи кожен аспект формальною онтологією). Використання таких категорій дає змогу зробити формалізацію аспектів в логіці опису (дескрипційна логіка) (DL).

Контекстні поняття взаємозв'язані між собою через контекстні відношення, включаючи внутрішньобласні, міжобласні та міжконтекстні відношення, тобто такі відношення включають не тільки відношення між компонентами однієї області, а й відношення між іншими контекстами. Такі поняття та конструкції необхідні для того, щоб визначити, зрозуміти, структурувати та представити сутності як контексти та/або в межах контекстів, щоб зрозуміти природу, цілі та значення відповідних сутностей задач та процесу прийняття рішень.

Відношення будемо поділяти на структурні (ієрархічні) та семантичні (асоціативні). До структурних відношень будемо відносити такі відношення: класифікація, конкретизація, узагальнення, спеціалізація, відношення *a kind of*, агрегація, декомпозиція, групування, індивідуалізація, відношення омонімії. Асоціативні відношення дають змогу зрозуміти, в якому зв'язку перебувають поняття, що описують один клас онтології, з поняттями іншого класу. На рівні контекстних областей існують структурні та семантичні відношення. Наприклад, в області мета/результат існують відношення агрегації (частина-ціле), тобто ціль може мати підцілі. В цій же області можуть виникати асоціативні відношення між проблемами, наприклад, відношення причинності, коли виникнення однієї проблеми є причиною виникнення інших проблем. В області процес/дія виникають відношення управління — послідовність, ітерація, вибір, заміщення, заборони, аддитивності. В області часу є множина часових відносин, які можуть бути визначені для часових точок та інтервалів часу.

Описане представлення контексту дає змогу: 1) логічно виводити новий контекст з наявних; 2) повторно використовувати контекст за допомогою застосування контекстів вищих рівнів абстракції, їх інтеграції та конкретизації для відповідних умов і завдань; 3) отримувати контекст більш високого рівня абстракції з розглянутого контексту; 4) розбивати контекст на складові — його логічно пов'язані внутрішньо узгоджені контексти.

Орієнтація систем підтримки прийняття рішень на використання контексту дає змогу, не впливаючи безпосередньо на процес прийняття рішень, обмежити його лише значущими для цього контексту правилами/процедурами. Тож з точки зору систем підтримки прийняття рішень контекст забезпечує більш ефективне використання ресурсів середовища, в якому функціонує система. З точки зору користувача контекст надає йому дійсну, релевантну і доступну для вирішення його завдання інформацію. Контекст прийняття рішень дасть нам можливість визначення потенціалу та меж для підтримки прийняття рішень, при цьому він забезпечить умови, які формують процеси прийняття рішень.

Висновок

Представлений підхід до опису контексту та використання його для розв'язання задач прийняття рішень дає змогу реалізувати інтелектуальну підтримку прийняття рішень в динамічних структурованих областях, основою якої є контекст та онтологія. Запропонований підхід був покладений в основу інформаційної системи, що реалізована як складова частина вірмено-американського проекту з технічної допомоги в галузі безпеки продуктів харчування.

Література

1. Giunchiglia F., Dutta B., Maltese V., Farazi F. A facet-based methodology for the construction of a large-scale geospatial ontology. *Journal on Data Semantics*, 2012. 1. P. 57—73.
2. Dey A.K., Salber D., Abowd G.D. A Conceptual Framework and a Toolkit for Supporting the Rapid Prototyping of Context Aware Applications. *Human-Computer Interaction (HCI) Journal*, 2001. 16. P. 97—166.
3. Dourish P. What we talk about when we talk about context. *Personal and ubiquitous computing*, 2004. 8. P. 19—30.
4. Bazire M., Brézillon P. Understanding Context Before Using it / In: Dey, A. et al. (eds.) CONTEXT 2005, LNAI 3554. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2005. P. 29—40.
5. A survey of context modelling and reasoning techniques / C. Bettini, O. Brdiczka, K. Henriksen, J. Indulska, D. Nicklas, A. Ranganathan, D. Riboni. *Pervasive and Mobile Computing*, 2010. 6. P. 161—180.
6. Gu T., Wang X.H., Pung H.K., Zhang D.Q. An ontology-based context model in intelligent environments. In *Proceedings of communication networks and distributed systems modeling and simulation conference*, 2004. P. 270—275.
7. Чаплінський Ю.П. Онтологічне представлення процесів прийняття рішень. *Проблеми інформатизації та управління*, 2009. № 2(26). С. 146—151.
8. Porzel R. Contextual Computing: Models and Applications. (Cognitive Technologies). Springer Verlag, 2010. 180 p.
9. Чаплінський Ю.П., Субботіна О.В. Онтологія та контекст при розв'язанні прикладних задач прийняття рішень. *Штучний інтелект*, 2016. № 2. С. 147—155.

ENERGY EFFICIENCY OF ROBUST-OPTIMAL SYSTEMS OF CONTROL OF TECHNOLOGICAL OBJECTS

N. Lutska

National University of Food Technologies

Key words:

Robust-optimal regulator

Control system

H_∞ -norm

Weight parameters

Technological object

Energy saving

Article history:

Received 08.11.2018

Received in revised form

23.11.2018

Accepted 14.12.2018

Corresponding author:

N. Lutska

E-mail:

[lutskanm2017@](mailto:lutskanm2017@gmail.com)

[gmail.com](mailto:lutskanm2017@gmail.com)

ABSTRACT

The energy efficiency of robust-optimal control systems for continuous-type technological objects in a dynamic mode, operating in conditions of significant uncertainties is investigated in this paper. The energy efficiency of the control system depends directly on the compromise between quality and power consumption, which is currently provided to the designer of the automation system. The logical improvement of such a system is the construction of an optimization problem for the automatic choice of compromise.

The purpose of the paper is to develop a methodology for choosing an alternative between energy consumption and the quality of the control system, which regulation device is synthesized by the criterion of the H_∞ -norm of a closed system in the space of state variables.

The general statement for the problem of robust optimum synthesis of the control device in the space of the state variables is presented, and to the object's mathematical model of which weighted parameters are introduced. The latter are given as real numbers, the fixed fractional-rational transfer functions's coefficients or a set of fractional-rational transmitting functions. Three criteria of energy efficiency have been formed on the basis of the introduced weight parameters that determine the compromise between quality and energy saving of the system. Two of them are reduced to a one-criterion optimization problem with constraints and one to a two-criterion problem based on a stable and effective compromise. Approaches to solving such problems are presented.

For example, the robust-optimal regulator according to the H_∞ -criterion for a multidimensional technological object was synthesized. The methods of influence on the energy efficiency of the control system are shown and the weight parameters, which were found on the basis of a compromise between energy consumption and system quality were determined. It is proved that such a system is energy-saving, in addition, when minimizing the established criteria, the alternative to the choice facing the designer of the control system is removed.

DOI: 10.24263/2225-2924-2018-24-6-4

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ РОБАСТНО-ОПТИМАЛЬНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ОБ'ЄКТАМИ

Н.М. Луцька

Національний університет харчових технологій

У статті досліджується енергоефективність робастно-оптимальних систем керування для технологічних об'єктів неперервного типу в динамічному режимі, що працюють в умовах суттєвих невизначеностей. Енергоефективність системи керування безпосередньо залежить від компромісу між якістю та енерговитратами, який на сьогодні покладений на проектант-а системи автоматизації. Логічним вдосконаленням такої системи є побудова оптимізаційної задачі автоматичного вибору компромісу.

Метою статті є розробка методики альтернативи вибору між енерговитратами та якістю системи керування, пристрій регулювання якої синтезується за критерієм H_∞ -норми замкненої системи в просторі змінних стану.

Наведена загальна постановка задачі робастно-оптимального синтезу керуючого пристрою в просторі змінних стану, в математичну модель об'єкта якої введені вагові параметри. Останні задаються як дійсні числа, коефіцієнти заданих стійких дробово-раціональних передавальних функцій або множина дробово-раціональних передавальних функцій. Сформовані три критерії енергоефективності на основі введених вагових параметрів, що визначають компроміс між якістю й енергозбереженням системи. Два з них зведені до однокритеріальної задачі оптимізації з обмеженнями та один — до двокритеріальної задачі на основі стабільно-ефективного компромісу. Приведені підходи до розв'язку таких задач.

Для прикладу синтезовано робастно-оптимальний регулятор за H_∞ -критерієм для багатовимірного технологічного об'єкта. Показані способи впливу на енергоефективність системи керування та визначені вагові параметри, що знайдені на основі компромісу між енерговитратами та якістю системи. Доведено, що така система є енергозбережною, крім того, при мінімізації сформованих критеріїв знімається альтернатива вибору, що стоїть перед проектантом системи керування.

Ключові слова: робастно-оптимальний регулятор, система керування, H_∞ -норма, вагові параметри, технологічний об'єкт, енергозбережність.

Постановка проблеми. Технологічні об'єкти неперервного типу за своєю сутністю є невизначеними. Невизначеності в об'єкті та системі керування обумовлені приблизним математичним описом об'єкта, неточностями вимірювання, нелінійностями керування, введенням нелінійних ланок у систему та багатьма іншими причинами, що лежать в основі функціонування технологічної системи. Значну частину технологічних об'єктів можна умовно розглядати як стаціонарні та лінійні, при синтезі системи керування яких використовуються класичні підходи [1]. Тоді якість та енерговитрати в системі керування незначно змінюються пропорційно зміщенню від прийнятої точки

лінеаризації. Для об'єктів, які функціонують при суттєвих невизначеностях, класичні методи синтезу призводять до значних втрат якості та енерговитрат. Тож для таких систем ефективними є методи синтезу системи керування, що базуються на робастних, адаптивних або інтелектуальних технологіях, для яких окремо постає питання альтернативи вибору між енерговитратами та якістю системи керування.

Один із напрямків синтезу систем керування для об'єктів з невизначеностями є робастно-оптимальні методи. Під останніми розуміються алгоритми розробки керуючого пристрою за робастним критерієм, зокрема H_2 - та H_∞ -норма передавальної функції, що характеризує систему, наприклад, від вектора входів до вектора виходів замкненої системи, розімкнена система, чутливість системи тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сьогодні робастно-оптимальний синтез за H_∞ -критерієм представлений декількома підходами, наведеними в таблиці, причому перший і третій методи відносяться до структурного синтезу, а 2-, 4- та 5-й методи — до параметричного синтезу. В кожному окремому випадку необхідно обирати альтернативу між якістю системи керування та енерговитратами, адже підвищення енерговитрат веде до збільшення якості перехідних процесів системи керування і навпаки.

Таблиця. Методи синтезу робастно-оптимальних систем керування

№	Назва методу/ напряму	Літературне джерело	Математична модель об'єкта та види невизначеностей	Особливості методики
1	Формування бажаних властивостей замкненого контуру (Loop shaping)	2, с. 61; 3, с. 153, с. 234; 1, с. 411; 4; 5	Номінальна модель з параметричними, мультиплікативними та адитивними невизначеностями	Вимоги до системи ставляться в частотній області, а регулятор синтезується на основі взаємно простої факторизації або інших методів
2	2-Ріккаті підхід	2, с. 158; 3, с. 155; 1, с. 436	Номінальна модель, можливі параметричні невизначеності	Синтезується центральний регулятор за алгебраїчними рівняннями Ріккаті
3	μ -синтез	2, с. 207; 3, с. 239	Модель зі структурованою невизначеністю	Базується на понятті структурованого сингулярного числа матриці та теоремі про малий коефіцієнт підсилення
4	Метод лінійних матричних нерів- ностей (LMI)	2, с. 180; 3, с. 232; 6	Номінальна модель з матричними структурними невизначеностями	Базується на квадратичній стабілізації та функції Ляпунова
5	Метод негладкого синтезу (Non- smooth synthesis)	7; 8	Номінальна модель	Ітераційний метод негладкого синтезу

Контроль енерговитрат при синтезі робастного регулятора для одновимірних систем відбувається шляхом введення у вихідний вектор контрольованих

змінних вектора керування, а обмеження його — шляхом вагових функцій при цьому векторі. Однак чітких рекомендацій вибору вагових функцій не існує, зокрема в [9] автор пропонує набір передавальних функцій для конкретного виду сигналу. Для технологічних об'єктів вхідні сигнали розмиті, і їх лише наближено можна віднести до конкретного виду. Крім того, для багатовимірних систем, для яких задача ставиться та вирішується в просторі змінних стану, питання енергоефективності не розглядалося, а використання векторних частотних передавальних функцій незручне.

Метою статті є дослідження енергоефективності систем керування, пристрій регулювання якої синтезується за H_∞ -нормою замкненої системи в просторі змінних стану, на основі якої розробити методику альтернативи вибору між енерговитратами та якістю системи.

Викладення основних результатів дослідження. Математичну модель технологічного об'єкта керування в номінальному режимі опишемо в просторі змінних стану:

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{A}\mathbf{x}(t) + \mathbf{B}_1 \begin{bmatrix} \mathbf{w}(t) \\ \mathbf{r}(t) \end{bmatrix} + \mathbf{B}_2 \mathbf{u}(t), \\ \begin{bmatrix} \boldsymbol{\varepsilon}(t) \\ \mathbf{u}(t) \end{bmatrix} = \alpha \left(\mathbf{C}_1 \mathbf{x}(t) + \mathbf{D}_{11} \begin{bmatrix} \mathbf{w}(t) \\ \mathbf{r}(t) \end{bmatrix} \right) + \beta \mathbf{D}_{12} \mathbf{u}(t), \\ \mathbf{y}(t) = \mathbf{C}_2 \mathbf{x}(t) + \mathbf{D}_{21} \begin{bmatrix} \mathbf{w}(t) \\ \mathbf{r}(t) \end{bmatrix} + \mathbf{D}_{22} \mathbf{u}(t), \end{cases} \quad (1)$$

де $\mathbf{x}(t)$ — вектор координат стану; $\mathbf{w}(t)$ — вектор зовнішніх збурень; $\mathbf{r}(t)$ — вектор завдання; $\mathbf{u}(t)$ — вектор керування; $\boldsymbol{\varepsilon}(t) = \mathbf{r}(t) - \mathbf{y}(t)$ — вектор розузгодження; $\mathbf{y}(t)$ — вектор вимірювань; матриці $\mathbf{A}$, $\mathbf{B}_1$, $\mathbf{B}_2$, $\mathbf{C}_1$, $\mathbf{D}_{11}$, $\mathbf{D}_{12}$, $\mathbf{C}_2$, $\mathbf{D}_{21}$, $\mathbf{D}_{22}$ мають відповідні розмірності, крім того, більшість з них визначаються блочно-діагональною формою виду:

$$\begin{aligned} \mathbf{A} &= \begin{bmatrix} \mathbf{A}_{n_x \times n_x}^x \\ \mathbf{0}_{n_u \times n_x} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B}_1 = \begin{bmatrix} \mathbf{B}_{n_x \times n_w}^w & \mathbf{0}_{n_x \times n_r} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B}_2 = \begin{bmatrix} \mathbf{B}_{n_x \times n_u}^u \end{bmatrix}, \\ \mathbf{C}_1 &= \begin{bmatrix} -\mathbf{C}_{n_y \times n_x}^y \\ \mathbf{0}_{n_u \times n_x} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C}_2 = \begin{bmatrix} \mathbf{C}_{n_y \times n_x}^y \end{bmatrix}, \\ \mathbf{D}_{11} &= \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{n_r \times n_w} & \mathbf{I}_{n_r \times n_r} \\ \mathbf{0}_{n_u \times n_w} & \mathbf{0}_{n_u \times n_r} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{D}_{12} = \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{n_r \times n_u} \\ \mathbf{I}_{n_u \times n_u} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{D}_{21} = \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{n_y \times n_w} & \mathbf{0}_{n_y \times n_r} \end{bmatrix}; \quad \mathbf{D}_{22} = \begin{bmatrix} \mathbf{0}_{n_y \times n_u} \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (2)$$

де $\mathbf{A}_{n_x \times n_x}^x$, $\mathbf{B}_{n_x \times n_w}^w$, $\mathbf{B}_{n_x \times n_u}^u$, $\mathbf{C}_{n_y \times n_x}^y$ — відповідно, матриці чисел, отримані з системи диференціальних рівнянь шляхом ідентифікації об'єкта (нижнім індексом $n_i \times n_j$ позначені розмірності матриць через розмірності векторів $\mathbf{i}$ та $\mathbf{j}$); $\mathbf{0}_{n_i \times n_j}$ — матриця нульових чисел, розмірністю $n_i \times n_j$; $\mathbf{I}_{n_i \times n_j}$ — одинична матриця, розмірністю $n_i \times n_j$; α, β — параметри системи керування. Нехай $n_r = n_y = n_\varepsilon$.

В (1) у вектор стабілізованих виходів $[\mathbf{e}, \mathbf{u}]^T$ введений вектор керування для обмеження останнього, причому складові стабілізованих виходів зважені параметрами системи α та β , що визначають компроміс між якістю та енергозбереженням системи (в загальному вигляді можуть залежати від часу або частоти).

Розглянемо типову структуру робастно-оптимальної системи керування, зображену на рис. 1, що складається з регулятора та об'єкта керування. Регулятор будується за виходами об'єкта:

$$\mathbf{u}(t) = \mathbf{K}(s)\mathbf{y}(t), \quad (3)$$

де $\mathbf{K}(s)$ — передавальна функція регулятора, структура та/або параметри якого розраховують шляхом мінімізації H_∞ -норми передатної функції замкненої системи $\mathbf{H}(s)$ від вектора входів $[\mathbf{w}, \mathbf{r}]^T$ до виходів $[\mathbf{e}, \mathbf{u}]^T$:

$$J = \min_{\mathbf{K}(s) \in \Omega} \|\mathbf{H}(s)\|_{\infty}^2, \quad (4)$$

де Ω — область регуляторів, що стабілізують об'єкт.

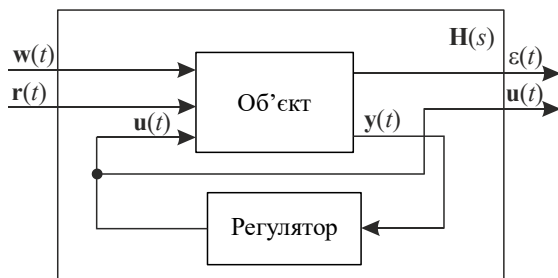


Рис. 1. Структурна схема робастно-оптимальної системи керування

Таким чином отримуємо робастно-оптимальну систему керування, енерго-ефективність якої можна налаштувати шляхом завдання параметрів α та β . Передатна функція регулятора обирається з класу стабілізованих (область Ω). Обмеженням на $\mathbf{K}(s)$ також може бути структура регулятора, стійкість передатної функції регулятора тощо.

Поставимо задачу оптимізації параметрів α та β при заданій структурі регулятора:

$$J = \min_{\alpha, \beta \in \Omega_2} \min_{\mathbf{K}(s) \in \Omega_1} \|\mathbf{H}(s)\|_{\infty}^2, \quad (5)$$

де Ω_1 — задана структура регулятора, що стабілізує об'єкт; Ω_2 — задана область параметрів α та β .

Оптимізаційну задачу (5) можна розширити шляхом введення різних обмежень, виділивши з внутрішньої оптимізаційної задачі частковий критерій. Тоді оптимізаційну задачу можна записати так:

$$J = \min_{\alpha, \beta \in \Omega_2,} \left[\min_{K(s) \in \Omega_1} \|H(s)\|_{\infty}^2 \right]_{uw}, \quad (6)$$

$$\|H_{\varepsilon w}(s)\|_{\infty} \leq \gamma,$$

$$\|H_{\varepsilon r}(s)\|_{\infty} \leq 1,$$

де $\left[\right]_{uw}$ позначено H_{∞} -норму від вектора зовнішніх збурень до вектора керувань u ; γ — обмеження на H_{∞} -норму від вектора зовнішніх збурень w до вектора розузгодження ε , що визначаються з технологічного регламенту ведення процесу.

Обираючи критерій (6), проєктант системи автоматизації задає лише γ , таким чином мінімізуючи H_{∞} -норму від вектора зовнішніх збурень w до вектора керувань u , тобто мінімізуються витрати робастно-оптимальної системи керування.

Для завдання області Ω_2 можливі варіанти:

- область дійсних чисел ($\alpha, \beta \in R^n$), причому $\alpha + \beta = 1$, $\alpha, \beta > 0$;
- область параметрів заданих стійких дробово-раціональних передавальних функцій:

$$\left(\alpha(s) = \frac{A(s)}{B(s)} = \frac{1 + a_1 s + a_2 s^2 + \dots + a_{n_a} s^{n_a}}{1 + b_1 s + b_2 s^2 + \dots + b_{n_b} s^{n_b}}, \right.$$

$$\left. \beta(s) = \frac{C(s)}{D(s)} = \frac{1 + c_1 s + c_2 s^2 + \dots + c_{n_c} s^{n_c}}{1 + d_1 s + d_2 s^2 + \dots + d_{n_d} s^{n_d}}, n_a \leq n_b, n_c \leq n_d \right);$$

- область стійких дробово-раціональних передавальних функцій:

$$(\alpha(s), \beta(s) \in RH_{\infty}).$$

Останні рекомендується задавати не вище 3-го порядку, оскільки підвищення порядку призводить до збільшення коливань керуючого сигналу та зношення регулюючого органу.

Аналітично розв'язок задачі (6) знайти проблематично, тому використовуються ітераційні методи пошуку. Крім того, оптимізаційна задача (6) негладка, тому ефективним буде використання випадкових методів пошуку або методів повного перебору. Ці ж методи рекомендується застосовувати при структурній оптимізації вагових параметрів $\alpha(s)$ та $\beta(s)$ шляхом поступового збільшення порядку поліномів $A(s)$, $B(s)$, $C(s)$, $D(s)$. Стосовно внутрішньої оптимізаційної задачі (6), тобто (4), то рекомендується застосовувати методи, наведені в таблиці.

Приклад. Змодельємо робастно-оптимальну систему керування з різними значеннями параметрів α та β для підсистеми керування рівнями багатокорпусної випарної установки цукрового заводу, математична модель та особливості синтезу якої наведені в [10]. Математична модель об'єкта описується системою диференціальних рівнянь 5-го порядку, а структура регулятора — статична матриця розмірності 5×5 .

Нехай α та β дійсні числа та $\alpha + \beta = 1$, $\alpha, \beta > 0$. Тоді шляхом синтезу робастно-оптимальної системи керування з різними значеннями α та β отримаємо графіки зміни критерію керування. Задача оптимізації розв'язувалася в пакеті прикладних програм Matlab, бібліотека Robust Control Toolbox. На рис. 2а зображено зміну критерію керування за ітераціями, якщо критерієм керування є $\|H_{uw}(s)\|_{\infty}$ та наявні лише обмеження на α та β . На рис. 2б критерієм є, відповідно, $\|H_{\varepsilon w}(s)\|_{\infty}$. Як бачимо, другий критерій суттєво нелінійний з немонотонною властивістю. Задавши значення γ , отримуємо проміжні значення параметрів α та β .

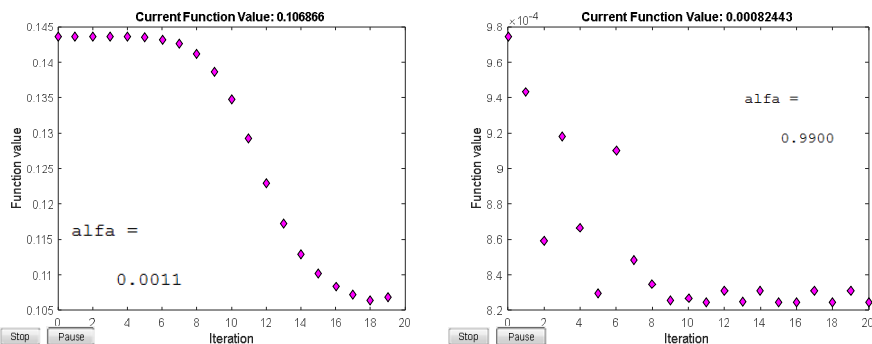


Рис. 2. Зміна критерію керування за ітераціями:
а — мінімізація $\|H_{uw}(s)\|_{\infty}$; б — мінімізація $\|H_{\varepsilon w}(s)\|_{\infty}$

На рис. 3. наведено область компромісу між критеріями якості та енерговитрат робастно-оптимальної системи керування. Оптимальне значення параметра α можна знайти, використовуючи критерій:

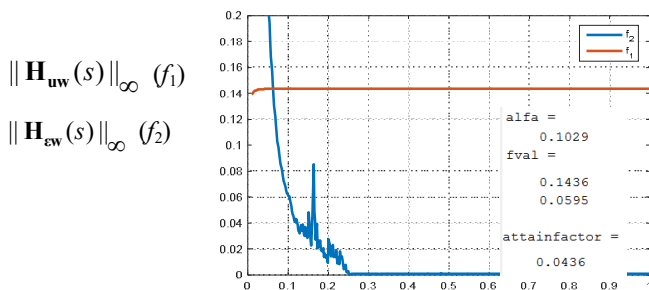


Рис. 3. Залежність критеріїв від параметра α

$$J = \min_{\alpha \in \Omega_2, \zeta} \zeta \text{ за умов } \begin{cases} \begin{bmatrix} \|H_{uw}(s)\|_{\infty} \\ \|H_{\varepsilon w}(s)\|_{\infty} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \zeta \leq goal; \\ \alpha_{\min} \leq \alpha \leq \alpha_{\max}; \beta = 1 - \alpha, \end{cases} \quad (7)$$

де $H_{uw}(s)$ та $H_{\varepsilon w}(s)$ є блочними матрицями з матриці $H(s)$, що розраховується шляхом розв'язання задачі оптимізації $\min_{K(s) \in \Omega_1} \|H(s)\|_{\infty}^2$; $goal$ —

вектор цілей (наприклад $[0.1 \ 0.1]^T$); ζ — фактор досягнення цілей (attainfactor). Для наведеного прикладу розраховані значення задачі (7) (рис. 3). Аналізуючи отримані результати, слід зазначити, що компроміс виправданий, оскільки критерій енерговитрат (f_1) мало змінюється при $\alpha > 0.11$, а подальше зменшення критерію якості (f_2) призводить до нестабільності.

Завдяки використанню критерію (7) перед проєктантом системи автоматизації знімається альтернатива вибору між енерговитратами та якістю системи автоматизації.

Висновки

При синтезі робастно-оптимальних регуляторів для технологічних об'єктів, що працюють в умовах дії суттєвих невизначеностей, постає питання забезпечення компромісу між енерговитратами та якістю системи регулювання в динамічному режимі, що в цілому забезпечить енергоефективність системи. Це питання має суб'єктивний характер і цілком залежить від проєктанта. Однак можна ввести в математичну модель системи вагові параметри та побудувати оптимізаційні задачі їх вибору на основі критеріїв (5)—(7). Наведений приклад розв'язку такої задачі довів свою ефективність.

Завдяки отриманим ваговим параметрам компромісу між енерговитратами та якістю системи керування при мінімізації сформованих критеріїв знімається альтернатива вибору, що стоїть перед проєктантом системи керування, а отримана система в цілому забезпечить енергоефективність системи. Подальші дослідження направлені на пошук ефективних ітераційних методів пошуку поставлених оптимізаційних задач для скорочення об'єму та часу обчислення.

Література

1. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5 т. / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. Т. 3. 616 с.
2. Ricardo S. Sánchez-Peña and, Mario Sznaiar. Robust Systems: Theory and Applications. Wiley: New York, 1998. 490 p.
3. Поляк Б.Т., Щербаков П.С. Робастная устойчивость и управление. Москва: Наука, 2002. 303 с.
4. McFarlane D.C., Glover K. Robust Controller Design using Normalised Coprime Factor Plant Descriptions. Springer Verlag: *Lecture Notes in Control and Information Sciences*. 1989. Vol. 138.
5. McFarlane D.C., Glover K. A Loop Shaping Design Procedure using Synthesis. *IEEE Transactions on Automatic Control*. 1992. 37(6). P. 759—769.
6. Поляк Б.Т., Хлебников М.В., Щербаков П.С. Управление линейными системами при внешних возмущениях: Техника линейных матричных неравенств. Москва: ЛЕНАНД, 2014. 560 с.
7. Apkarian P., Noll D. Nonsmooth H-infinity Synthesis. *IEEE Transactions on Automatic Control*. 2006. 51(1), P. 71—86.
8. Apkarian P., D. Noll, D. Alazard. Controller Design via Nonsmooth Multi-Directional Search. *IFAC Conf. on System Structure and Control*. 2004. Vol. 44, No. 6. P. 1923—1949.
9. Morari M., Zafiriou E. Robust process control. Prentice Hall, 1989. 488 p.
10. Ладанюк А.П., Луцкая Н.Н. Особенности задач робастного управления технологическими объектами. Часть 1. Технологические объекты и их математические модели. *Проблемы управления и информатики*. 2016. № 5. С. 16—23.

INFORMATIONAL SUPPLY OF THE CONTROL SYSTEM AT THE BEETPROCESSING DEPARTMENT OF THE SUGAR FACTORY

A. Bezuhlov, A. Ladanyuk

National University of Food Technologies

Key words:

*Intellectual methods
Beet processing
Corelation
Silluete method
MARGINAL distribution
Copula*

Article history:

Received 07.11.2018
Received in revised form
22.11.2018
Accepted 10.12.2018

Corresponding author:

A. Bezuhlov
E-mail:
bezuholov2andrii@
gmail.com

ABSTRACT

The paper deals with an approach of better representation of technological objects with the help of the latest methods of data analysis. The need to improve models of technological processes raises question of finding approaches that will simplify finding the regularities of complex technological processes and systems. The technological process such as the beet-processing department(BPD) of a sugar plant has a number of problems that have not been solved to date in terms of the process efficiency at the level of loss reduction and productivity increase. For these purposes, the researchers use methods of analysis of input data and the probabilistic method of their presentation.

The use of the silhouette method makes it possible to find the number of groups by their interaction with each other without being tied to the time coordinates. This provides a qualitatively new result based on the possibility of using intellectual and situational approaches. The method of silhouettes is used to analyze technological situations in which the copulas determine the interdependence between the technological variables of the BPD due to the fact that copulas are built on the basis of marginal distribution and have different variants of their structure. Unlike the correlation analysis, copulas provide the opportunity to simultaneously analyze and find dependencies of an area of variables at once, and for each pair of variables the copula may be different.

In the paper, the authors used the time series data of the technological process of BPD, carried out the analysis of literary sources and considered methods that were previously not used for the technological processes of sugar production.

As a result, the silhouette of the real data of the technological process of BPD are shown, which determined the technological regimes which correspond to the normal course of the process and to individual regimes that do not satisfy it. The analysis by the copula method showed the possibility of finding the regularities between variables if they are nonlinear and are not tied to time. Analysis by the copula can be also a prototype for creating larger models for integration into decision support systems or intellectual management systems. The beginning of such implementation is laid out in the article.

DOI: 10.24263/2225-2924-2018-24-6-5

ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ БУРЯКОПЕРЕРОБНИМ ВІДДІЛЕННЯМ ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ

А.О. Безуглов, А.П. Ладанюк

Національний університет харчових технологій

У статті розглядається забезпечення кращого представлення технологічних об'єктів за допомогою новітніх методів аналізу даних. З огляду на вимогу покращення моделей технологічних процесів зроблено спробу знайти підходи, які спростять знаходження закономірностей складних технологічних процесів і систем. Технологічний процес, зокрема бурякопереробне відділення (БПВ) цукрового заводу, має ряд проблем, які не вирішені на сьогодні з точки зору ефективності на рівні зменшення втрат і збільшення продуктивності. Для цих цілей використовують методи аналізу вхідних даних і ймовірнісний метод їх представлення.

Використання методу силуетів дає можливість знайти кількість груп за їх взаємодією між собою без прив'язки до часових координат, що забезпечує якісно новий результат, зважаючи на можливість використання інтелектуальних і ситуаційних підходів. Метод силуетів застосовується для аналізу технологічних ситуацій. Копули визначають взаємозалежності між технологічними змінними БПВ завдяки тому, що побудовані на основі маргінального розподілу і мають різні варіанти своєї структури. На відміну від кореляційного аналізу, копули дають можливість одночасно аналізувати та знаходити залежності відразу масиву змінних, причому для кожної пари змінних копула може бути різною.

У статті використано дані часових рядів технологічного процесу БПВ, проаналізовано літературні джерела та розглянуто методи, які раніше для технологічних процесів цукрового виробництва не використовувались.

Показано силуети реальних даних технологічного процесу БПВ, які визначили технологічні режими, що відповідають нормальному перебігу процесу та таким процесам, що не задовольняють його. Аналіз методом копул показав можливість знаходження закономірностей між змінними, якщо вони мають нелінійний характер і не прив'язані до часу. Також аналіз копулами може служити прототипом створення більших моделей для інтеграції в системи підтримки прийняття рішень або системи інтелектуального управління в цілому. Початок такої реалізації покладено у поданій статті.

Ключові слова: інтелектуальні методи, обробка буряків, кореляція, метод силуетів, маргінальний розподіл, копула.

Постановка проблеми. Бурякопереробне відділення (БПВ) цукрового заводу практично забезпечує темп виробництва щодо кількості перероблених буряків та зміни матеріальних потоків на системах очистки дифузійного соку та випарювання, формуючи таким чином основні техніко-економічні показ-

ники виробництва і здійснюючи забезпечення необхідної якості готової продукції. В технічній літературі є значна кількість методів, в яких розглядаються різні аспекти функціонування та управління БПВ, основна частина присвячена керуванню дифузійними установками різних типів. Однак практично відсутні роботи комплексного характеру з огляду на те, що БПВ включає, крім дифузійних апаратів, різні механізми та прилади для транспортування буряків та дифузійного соку, насоси, збірники тощо, а значне місце займають бурякорізки, які забезпечують необхідну кількість та якість бурякової стружки (її довжину).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У Національному університеті харчових технологій (НУХТ) проведені дослідження, значна частина яких присвячена задачам керування БПВ (в основному дифузійними апаратами) [1—3]. На сучасному етапі у НУХТ використовуються сучасні підходи для розвитку напряму управління БПВ і цукровим заводом у цілому.

Мета статті: дослідити можливості підвищення ефективності систем автоматичного управління (САУ) шляхом використання новітніх методів аналізу даних, таких як метод ліктив і метод копул, для розробки моделей і в подальшому систем управління бурякопереробними відділеннями цукрового заводу, провести аналіз технічної літератури для оцінки можливості використання цих методів у контексті автоматизації бурякопереробного відділення.

Викладення основних результатів дослідження. Розробка та практичне використання методів сучасної теорії керування та системного підходу потребують новітніх рішень, насамперед інтелектуальних засобів, способів, підсистем і систем, які базуються на комплексуванні форм об'єднання ефективних керувальних дій [4]. У результаті формуються системи, які засновані на робастно-оптимальних і нейронечітких методах, способах ситуаційного та прецедентного керування (у тому числі адаптивного), можливостях компенсації збурень і запізнювань. Ці методи та способи описані в [5; 6].

Для БПВ з урахуванням його особливостей актуальними є задачі керування, які базуються на сучасному інформаційному забезпеченні з використанням методів:

- аналізу часових рядів (кластеризація, класифікація, обробка з виявленням трендів та аномальних даних тощо);
- побудови нейронечітких регуляторів;
- формування підсистем(систем) підтримки прийняття рішень;
- обґрунтуванні ситуаційних і прецедентних методів керування;

На вимогу оптимізації виробничого процесу цукрового заводу, зокрема БПВ, класичних методів аналізу даних і створення математичних моделей недостатньо. Для того, щоб моделі відтворювали об'єкт у більш широкому, ніж до того вигляді (з притаманним їм сучасним вимогам точності), вибір та аналіз даних, і подальша з ними робота доповнюється ймовірнісними підходами, що у синтезі з класичними дають збільшення інформативної бази на одному з основних етапів створення моделей.

Серед таких підходів останнім часом поширення набули варіанти з багатовим або маргінальним розподілом величин. До таких методів належать також і методи копул. Для БПВ вперше використано копули для аналізу даних як

ідентифікатора та аналізатора роботи похилого дифузійного апарату. Для того, щоб з'ясувати, що собою являє метод копул для задачі аналізу даних у БПВ, приведемо аналіз самого методу.

Відмінності між копула-функціями Клейтона, Гумбеля та Франка продемонстровані графічно на рис. 6. Видно, що зображені копула-функції мають різний характер поведінки в околицях точок (0,0) і (1,1). Наприклад, копула-функція Гумбеля в межах (1,1) демонструє різкий ріст, тоді як ріст в окремій точці (0,0) менш крутий. Як буде показано далі, вимірюванням характеру цих копул-функцій є коефіцієнт «хвостової залежності». Копула-функція Гумбеля має «верхню граничну відстань», копула-функція Клейтона — «нижні гаусові відстані», а копула-функція Франка не має хвостової залежності. Для двох розподілів, двох умовно незалежних величин для БПВ створюють копули: Стюдента, Гаусової копули, Клейтона Гумбеля, Франка та оцінюють параметри отриманих функцій. Відповідно до існуючих методів, копули аналогічно до кореляцій (Пірсона і рангових кореляцій Спірмена та Кендала) мають критерії, які перевіряють значення на адекватність. Для копул такими параметрами є: основні умови існування, властивості копул і теорема Скляра, характеристики яких відомі з літератури [8].

Існує загальноприйнята схема, за якою отримують необхідні вибірки даних вільного розподілу змінних, залежності яких описуються одним із видів копул. За теоремою Скляра, генерування вибірки випадкових величин $X_1 \dots X_n$ з маргінальними функціями розподілу $F_1 \dots F_n$ здійснюється за схемою, наведеною у [9]: спершу здійснюють генерацію випадкових величин $u_1 \dots u_n$ з рівними на проміжку $[0,1]$ одновимірними розподілами; одержують значення x_i :

$$x_i = F_{i-1}^{-1}(u_i), \quad (1)$$

де $F_{i-1}^{-1}(u_i)$ обернена функція $F(i)$, а з вибірки формують навчальні та робочі множини.

Функція спільного розподілу може бути виражена як функція копули, яка застосовується до окремих розподілів. Розраховується монотонна асоціація (тільки строго збільшена або зменшена, але не змішана) між двома змінними, що залежить від рангу і порядку значень. Використовуючи копули, можна створювати багатоваріантні розподіли специфічних маргінальних одиничних розподілів і обирати тип копул для забезпечення кореляційного зв'язку між змінними.

Згідно з літературою [8; 9], коефіцієнт кореляції Кендалла оцінює ступінь подібності між двома наборами даних, що належать одній і тій же сукупності об'єктів або явищ. Цей коефіцієнт залежить від кількості інверсій пар об'єктів, які будуть необхідні для перетворення одного порядку в інший. Для цього кожен порядок представлений набором усіх пар об'єктів (наприклад, $[a, b]$ і $[b, a]$ — це дві пари, що представляють об'єкти a та b), а значення 1 або 0 призначається цій парі, якщо її порядок відповідає або не відповідає способу об'єднання цих двох об'єктів. Ця схема забезпечує набір бінарних значень, які потім використовуються для обчислення коефіцієнта кореляції Пірсона.

Для порівняння двох упорядкованих «випадкових» множин (одного й того ж об'єкта) підхід Кендалла полягає в тому, щоб підрахувати кількість різних

пар між цими двома упорядкованими множинами. Це число дає відстань між множинами, що називається симетричною різницею відстаней (симетрична різниця — це задана операція, яка асоціює два набори з набором елементів, що належать тільки одному набору). Симетрична різницева відстань між двома множинами упорядкованих пар $P1$ і $P2$ позначається $d \Delta (P1, P2)$.

Коефіцієнт кореляції Кендалла залежить лише від порядку пар, і його завжди можна обчислити, припускаючи, що один з елементів рангової зупинки служить як контрольна точка (наприклад, з $N = 4$ елементів ми вважаємо до-вільно, що перший порядок дорівнює 1234).

Для порівняння двох упорядкованих «випадкових» множин (одного й того ж об'єкта) підхід Кендалла полягає в тому, щоб підрахувати кількість різних пар між цими двома упорядкованими множинами. Це число дає відстань між множинами, що називається симетричною різницею відстаней (симетрична різниця — це задана операція, яка асоціює два набори з набором елементів, що належать тільки одному набору).

Коефіцієнт кореляції Кендалла також може інтерпретуватися як стандартний коефіцієнт кореляції, який обчислюється між двома множинами на $N*(N - 1)$ бінарних значень. Після визначення порядку копул, визначають, які копули використовувати для визначення зв'язків (Гаусса, Стюдента, Гумбеля тощо). Вченими не визначено точного наукового методу для цієї задачі, тому існує декілька основних методологій: аналізують парні графіки розподілів величин і визначають копули графічно; використовують досвід проектування та експертів.

У статті обрано для дослідження змінні витрат бурякової стружки на вході в дифузійний апарат та витрата кількості соку на виході з дифузійного апарата, тому що вони часто мають змінюваний характер у незвичайних технологічних ситуаціях. Графічний еквівалент подання залежності двох змінних стосовно ймовірнісного розподілу подано нижче на рис. 1а та 1б.

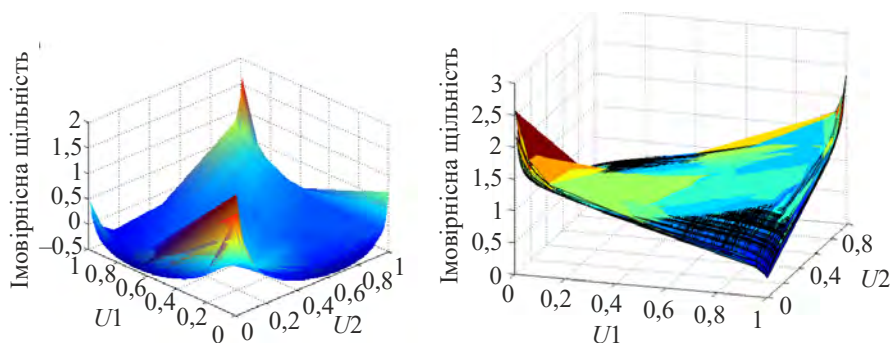


Рис. 1. Розподіли копул: а — розподіл копули Гаусса; б — розподіл Т-копули

Коефіцієнти, отримані при розрахунках (розмах копули та співвідношення викривлень), використовують для створення моделей і надбудов у системи підтримки прийняття рішень, адже їхня структура при навчанні лише доповнюється новою інформацією, що розширює можливі варіанти аналізу технологічних режимів, де змін зазнаватимуть тільки коефіцієнти $\mu_i = 9,4391$ для нашого випадку та матриця $Rho = [1,0000 \ 0,1479; 0,1479 \ 1,0000]$.

Цей підхід доповнюється адаптацією методу класифікації за схемою силуетів, який виконує задачу оптимізації кластеризації часових рядів з урахуванням специфіки цукрового виробництва з його інформаційними потоками, які викликають труднощі, однак існують популярні методи для того, щоб задати базові значення класів: метод ліктів і метод силуетів

При навчанні з учителем кількість класів у певному наборі даних відома явно, оскільки кожен екземпляр даних записується як член одного з існуючих класів. Це не можна зробити при навчанні без учителя, де ідея класів та атрибутів як така не створюється, наприклад, в одному з поширених видів навчання без учителя — кластеризації даних, що дає змогу проводити апроксимацію приналежності класів, мінімізуючи міжкласову подібність. Головним недоліком, як відомо з [10], у кластеризації може бути необхідність задавання загальної кількості класів, які можуть існувати у непозначених вхідних і вихідних наборах даних у тому чи іншому вигляді, коли при відомому машинному навчанні використовують так звані базові значення класів (ground truth). Однак не завжди можливо застосувати їх з багатьох причин. Так, у даних взагалі можуть бути невизначені класи (і, відповідно, кластери), тож завдання навчання без учителя полягає в тому, щоб забезпечити кількість класів, які існують у непозначеному (без розмітки) наборі даних на початку аналізу даних, зробити спробу нав'язати певну значиму структуру оптимальних кластерів і класів.

Метод силуету оцінює подібність об'єкта до власного, створеного в процесі кластера, що називається об'єднанням. Цей процес здійснюється у контексті порівняння з іншими кластерами відповідно до ймовірнісного розподілу, зокрема маргінального. Інтерпретуючі знання методу, тобто значення силуетів, є засобом порівняння, яке має діапазон $[-1, 1]$; значення, близьке до 1, вказує на тісний зв'язок з об'єктами у власному кластері, тоді як значення, близьке до -1 , вказує на протилежність [11].

Значення силуету для кожної точки є мірою того, наскільки подібна ця точка до точок у своєму кластері, порівняно з точками в інших кластерах. Значення силуету для i -ї точки, S_i , визначається таким чином:

$$S_i = (b_i - a_i) / \max(a_i, b_i), \quad (2)$$

де a_i — середня відстань від i -ї точки до інших точок того ж кластера, що a_i , і b_i — мінімальна середня відстань від i -ї точки до точок іншого кластера, мінімізована над кластерами. Кластеризовані дані в X використовують підхід із пакета Matlab `kmeans`. `cidx = kmeans(X, 2)`; після чого виконують створення форми силуету з кластеризованих даних: `silhouette(X, cidx)`.

За замовчуванням силует використовує квадратичну евклідову відстань між точками в X , яка, зважаючи на дані експериментів, дає хибні значення для технологічних змінних (рис. 2).

За допомогою стандартної функції з евклідовою відстанню описати достатньо точно кластери неможливо через великі розкиди початкових даних, які часто виникають у виробничих процесах через свою нестабільність і нестаціонарність або невірно задані початкові розподіли. Натомість можна використати інший метод з тією самою кількістю кластерів.

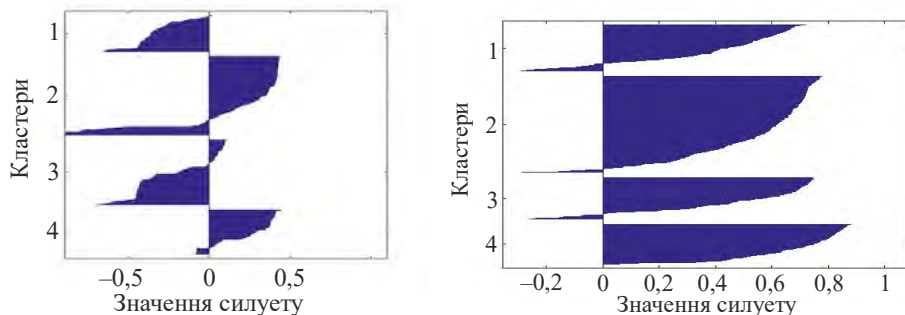


Рис. 2. Кластери: а — нечіткі кластери за евклідовою відстанню;
б — тенденція кластерів силуетами за методом суми абсолютних різниць

З вигляду силуету можна побачити, що більшість точок у ньому мають велике значення силуету — більше 0,6, тож цей кластер має найбільше зі значень, кластер з якого дещо віддалений від сусідніх кластерів. У кожному кластері є певна кількість від'ємно розміщених точок, що показує їхню незадовільну роздільність. Це не дає змоги точно їх призначити класу, але велика кількість точок має значення силуетів більше 0,7—0,8. На основі отриманих даних методом силуетів підставляються отримані кластери з відповідними розподілами для використання у методі копул, що забезпечує більш точні результати аналізу, які неможливо досягти класичними методами для великих об'ємів вибірок.

На основі теоретичних досліджень та експериментальних даних отримано ряд результатів, які дають можливість сформулювати вимоги та практичну реалізацію до систем автоматизації БПВ з урахуванням сучасних технологій теорії керування та їх реалізації в мікропроцесорних системах [12].

Розроблено ряд математичних моделей, які описують динамічні процеси в різних технологічних агрегатах і допоміжних пристроях, наприклад: моделі різки, транспортери, збірники, дифузійні апарати. Це дає можливість оцінити процес функціонування БПВ на різних періодах роботи протягом сезону. В комплексі математичних моделей наявні диференціальні рівняння, статичні характеристики та ланки запізнення. Для використання цих моделей на першому етапі необхідно мати оцінки часових рядів, їх класифікацію та визначення аномальних даних, що відповідає різним виробничим ситуаціям.

Показано, що на відміну від традиційного статистичного аналізу, додаткові технологічні дані може дати підхід, заснований на використанні копул. Копульний аналіз дає змогу аналізу розподілу більше, ніж двох змінних. А сам алгоритм працює над частковим розподілом між змінними. Також слід зазначити, що гауссівські копули і копули Стюдента найточніше передають залежність між даними для більшості ознак і класів у складних об'єктах, на відміну від інших типів копул.

Висновки

1. Для ефективного керування БПВ як складної системи необхідно використовувати ряд методів, зокрема сучасні підходи аналізу часових рядів, які дають можливість аналізу процесу функціонування.

2. На відміну від існуючих методів, показано, що використання методів копул та кластеризації методом силуетів дає можливість отримати нову інформацію щодо виробничих ситуацій, зокрема на основі аналізу даних.

3. Наведені в статті методи можуть використовуватися для створення бази даних і знань, а також формування підсистеми підтримки прийняття рішень.

Література

1. Способ автоматического управления процессом экстрагирования сахара из свеклы А.С. 1458391 СССР, МПК С 13 D 3/10. 4208860/31-13; заявл. 16.03.1987. опубл. 15.02.1989. Бюл № 6. 3 с.
2. Способ автоматического управления процессом экстракции сахара из свекловичной стружки в непрерывнодействующем диффузионном аппарате А.С. 1129236 СССР, М.Кл. С 13 D 3/10. 3495531/28-13; заявл. 17.09.1982. опубл. 15.12.1984. Бюл № 46. 3 с.
3. Система автоматизації процесів координації підсистем технологічного комплексу цукрового заводу з використанням ситуаційного управління: пат. №73051 Україна: МПК G05B 13/04 №ю 201202161; заявл. 24.02.2012 р. опубл. 10.09.2012. Бюл № 17. 4 с.
4. Ладанюк А.П. Синтез АСР методом компенсування керувальних дій. *Автоматизоване управління багатовимірними об'єктами на засадах обчислювального інтелекту: матеріали наук.-практ. конф., (Івано-Франківськ 17—19 жовтня 2018р.)* Івано-Франківськ ІФНТУНГ. С. 59.
5. Ladaniuk A., Bezuhlov A., Boiko R. Mathematical models for the functioning of the beet-processing department in the sugar production factory. Krivy Rih: CSITA, 2018. С. 3—12.
6. Ладанюк А.П., Власенко Л.О., Кишенько В.Д., Методологія наукових досліджень: Навч. Посіб. Київ : Видавництво Ліра-К, 2018. 352 с.
7. Berkes P, Wood F, Pillow J (2009) Characterizing neural dependencies with copula models. In: Koller D, Schuurmans D, Bengio Y, Bottou L., editors. *Advances in Neural Information Processing Systems* 21. P. 129—136.
8. de Winter, Joost & Gosling, Samuel & Potter, Jeff. Comparing the Pearson and Spearman Correlation Coefficients Across Distributions and Sample Sizes: A Tutorial Using Simulations and Empirical Data. — *Psychological Methods*. 21. 273—290. 2016. 290 p.
9. Nelsen R. *An Introduction to Copulas*, 2nd ed. — Berlin: Springer-Verlag, 2006. 269 p.
10. János Abonyi, Balázs Feil. *Cluster Analysis for Data Mining and System Identification*. Springer, 2007. P. 303.
11. Rousseeuw P.J. Silhouettes: a graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. *Journal of Computational and Applied Mathematics*. 1987. 20. P. 53—65.
12. Ладанюк А.П., Луцька Н.М., Кишенько В.Д., Власенко Л.О., Іващук В.В. *Методи сучасної теорії управління: підручник*. Київ: Видавництво Ліра-К, 2018. 368 с.

INNOVATIVE TECHNOLOGIES FOR THE PRODUCTION OF ELASTIC LEATHER MATERIALS

A. Danylkovych, S. Bilinskii

Kyiv National University of Technologies and Design

Key words:

*Industrial approbation
Technological processes
Filling-retanning
Semi-finished chrome
Tanning product
Production of elastic
leather
Physicochemical
properties*

Article history:

Received 06.11.2018

Received in revised form
23.11.2018

Accepted 18.12.2018

Corresponding author:

A. Danylkovych

E-mail:

npnuht@ukr.net

ABSTRACT

For the industrial approbation of the developed biotechnologies, using the chrome tanning semi-finished product of wet-salted raw material of cattle — heavy heifer, bulls, and outgrowths thickness respectively by 1.7, 1.5 and 1.4 mm. The filling-retanning processes were carried out in a “Doze” company drum (Germany) with a volume of 0.39 m³ at a temperature of 30—32°C, mixing with its 7—8 min⁻¹ rotation speed and using ionized nanosilica A-300.

The use of ionized nanosilica A-300 by 1 technology provides a reduction in the consumption of imported materials through the formation of increased volumetric output and adhesion in leather material, respectively, by 13% and 19—26% compared with the material obtained by the current technology. The use of the biocatalytic modifier in 2 technology make it possible to reduce the consumption of imported reagents by 38% with an increase in the elastic-plastic parameters of the leather material, in particular, increase the breaking elongation to 77%. At the same time, the output area of leather material is increase and achieved by 5.1%. According to 3 technology, complete replacement of the quiberacho extract with a nanocrystalline A-300 ensures the formation of light-colored leather with a topographically more homogeneous with an output area increased by 3.7%.

The complex of physico-mechanical properties of the resulting leather is dominated by industrially manufactured and meets the requirements for elastic leather for garments in accordance with DSTU 3115-95 and the international standard ISO 9001:2015 “Quality management systems. Requirements”. Manufacturing on the developed technologies for the formation of chrome-tanning elastic leather materials are patented and can be considered as promising for the introduction of tanneries into the industry.

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА ЕЛАСТИЧНИХ ШКІРЯНИХ МАТЕРІАЛІВ

А.Г. Данилкович, С.О. Білінський

Київський національний університет технологій та дизайну

Для промислової апробації розроблених технологій використаний напівфабрикат хромового дублення мокросолоної сировини великої рогатої худоби — яловичі важкої, бичини і виростка товщиною, відповідно, 1,7, 1,5 і 1,4 мм. Наповнювально-додублювальні процеси проводили у барабані фірми Doze (Німеччина) об'ємом 0,39 м³ за температури 30—32 °С при перемішуванні за швидкості його обертання 7—8 хв⁻¹ та використанні йонізованого нанокремнезему А-300.

Використання йонізованого нанокремнезему А-300 за технологією 1 забезпечує зменшення витрат імпортованих матеріалів завдяки формуванню шкіряного матеріалу з підвищеними об'ємним виходом і адгезією, відповідно, на 13% і 19—26% порівняно з матеріалом, отриманим за діючою технологією. Використання біокаталітичного модифікатора в технології 2 дало можливість скоротити витрати імпортованих реагентів на 38% при підвищенні пружно-пластичних показників шкіряного матеріалу, зокрема розривного видовження до 77%. При цьому досягається збільшення виходу площі шкіряного матеріалу на 5,1%. Повна заміна екстракту квебрахо нанокремнеземом А-300 за технологією 3 забезпечує формування шкір світлих кольорів топографічно більш однорідних з підвищенням виходу площі на 3,7%.

За комплексом фізико-механічних властивостей отримані шкіри переважають промислово виготовлені й відповідають вимогам щодо еластичних шкір для швейних виробів за ДСТУ 3115-95 та міжнародного стандарту ISO 9001:2015 «Системи управління якістю. Вимоги». Виготовлення шкіряних матеріалів за розробленими технологіями формування еластичних шкіряних матеріалів хромового дублення патентнообґрунтовані й можуть розглядатись як перспективні для впровадження на підприємствах шкіряного виробництва.

Ключові слова: промислова апробація, технологічні процеси, наповнювання-додублювання, напівфабрикат хромового дублення, виробництво еластичних шкір, фізико-хімічні властивості.

Постановка проблеми. Високоєфективні технології виробництва різноманітної продукції відзначаються економічністю, масо- і енергозатратністю, високою екологічністю. Значною мірою це стосується виробництва натуральних шкіряних матеріалів, яке характеризується дефіцитністю і різноманітністю білкової сировини, тривалістю технологічних процесів, сучасними вимогами до якості та асортименту шкіряних матеріалів. Одним із варіантів вирішення цієї проблеми є розроблення високопродуктивних технологій з використанням нових хімічних реагентів і матеріалів, які дають можливість замінити дефіцитні імпортовані. При цьому з'являється можливість розширити асортимент існуючої шкіряної продукції, в тому числі шкіряних матеріалів

світлих кольорів. Враховуючи велику роль післядубильних процесів при формуванні структури і властивостей еластичних шкіряних матеріалів у технологічному циклі їх виробництва, значна увага при розробленні нових технологій приділяється процесам наповнювання-додублювання структурованого напівфабрикату.

У технологічних процесах виробництва натуральних матеріалів хромового дублення із сировини шкур великої рогатої худоби використовується велика кількість хімічних реагентів і матеріалів, зокрема природних і синтетичних структуруючих реагентів, у тому числі екстрактів рослинних матеріалів, дисперсій акрилових полімерів, а також бентоніту, каоліну, тальку тощо [1; 2]. Також використовуються композиції, що включають природні та синтетичні реагенти. Слід зазначити, що в [2] для формування об'єму і виходу площі натурального матеріалу рекомендується використовувати алюмосилікати. Завдяки модифікації поверхні частинок суспензій мінералів реалізується висока їх дисперсність.

Досліджені процеси наповнювання-додублювання напівфабрикату хромового дублення з використанням танідів мімози з оксазолідіном [3]. Показана ефективність такого підходу при формуванні фізико-хімічних і технологічних властивостей шкір з урахуванням їх асортименту. Авторами [4] досліджено вплив дисперсій бутилакрилату й етилакрилату на процес формування шкір. Встановлено їх позитивний вплив на пружно-пластичні властивості матеріалу. У [5] встановлено вплив ферментно-модифікованих наповнювачів на властивості шкір світлих кольорів. Отримані шкіри характеризувались підвищеними органолептичними властивостями порівняно з контрольними. При використанні композиції високодисперсного оксиду кремнію (IV) і оксазолідину [6] показано підвищення стійкості натурального матеріалу до бактеріальної дії.

Отже, тільки композиції природних і синтетичних наповнювально-додублювальних реагентів можуть забезпечити ефективне формування структури шкіряного напівфабрикату та дифузійної здатності його лицьового шару щодо оздоблювальної композиції.

Мета дослідження: апробація розроблених технологій із скороченням витрат імпортованих хімічних реагентів завдяки застосуванню нанокремнезему А-300, застосуванням біокаталітичного модифікатора (БKM) на стадії попередньої пластифікації напівфабрикату хромового дублення, повної заміни забарвлених інгредієнтів нанокремнеземом А-300 при виготовленні шкір світлих кольорів.

Матеріали і методи. Для промислової апробації розроблених технологій наповнювання-додублювання використаний напівфабрикат хромового дублення мокросолоної сировини великої рогатої худоби різної маси і товщини. У технології із зменшеною витратою хімічних реагентів (технологія 1) [7; 8] обробленню підлягав напівфабрикат, отриманий із сировини яловиці важкої товщиною 1,5 мм. При апробації технології наповнювання-додублювання шкіряного напівфабрикату з попередньою пластифікацією (технологія 2) [9] використано напівфабрикат із сировини бичка товщиною 1,7 мм. У технології з повною заміною танідів нанокремнеземом А-300 (технологія 3) [10] засто-

совано напівфабрикат із сировини виростка товщиною 1,4 мм. Витрати реагентів при реалізації розроблених технологій наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Витрати реагентів

Реагент	Країна	Витрата реагентів маси напівфабрикату, %, за технологією			
		1	2	3	діюча
Нанокремнезем А-300	Україна	1,8	1,0	2,5	—
Модифікатор БКМ [11]	Україна	—	0,2	—	—
Дисперсія Relugan D	Німеччина	1,5	—	—	2,0
Дисперсія Trupotan G	Німеччина	2,25	2,0	—	3,0
Жирувальний реагент Trupol DL	Німеччина	6,0	6,0	8,2	7,0
Дисперсія Retanal RCN-40	Іспанія	—	—	6,3	—
Екстракт квебрахо	Китай	5,45	5,0	—	6,0
Алюмокалієвий галун	Україна	5,0	5,0	5,0	—
Мурашина кислота	Україна	—	—	—	0,4

Білкова сировина до наповнювально-додублювальних процесів готувалась за діючою технологією виробництва еластичних шкір на ПАТ «Чинбар», яка включала гідролітичне відновлення структури шкіряної сировини, лужне зневолошування і зоління, знезолування-м'якшення, кислотно-сольове пікелювання, дублення сполуками хрому (III), віджимання напівфабрикату та його стругання на задану товщину. Ці процеси виконувались у барабані фірми Olcina (Іспанія).

Наступні наповнювально-додублювальні процеси проводили у барабані фірми Doze (Німеччина) об'ємом 0,39 м³ за температури 30—32°C при перемішуванні за швидкості його обертання 7—8 хв⁻¹. Процес завершували обробленням напівфабрикату алюмокалієвим галуном і промиванням. Оздоблювання отриманого шкіряного напівфабрикату проводили після виконання сушильно-зволожувальних процесів і операцій з використанням матеріалів композиції BASF (Німеччина) за технологією, наведеною в табл. 2.

Таблиця 2. Технологія оздоблювальних процесів і операцій

Поточне число	Процес, операція	Склад композиції, мас. %, її витрати та режим оброблення
1	2	3
1	Нанесення ґрунту	Пігментний концентрат Lepton Farben N чорно-фіолетовий чи білий — 100 Lepton Filler K — 80 Lepton Wachs A — 30 Вода — 270 Corial Binder DN — 150 Corial Binder OT — 180
		Розпилювальний агрегат для покривного фарбування. Ґрунт наносять у 2 проходи з витратою 60—70 г/м ²
2	Пресування	Гідравлічний прес з гладкою або пилоподібною плитою чи валковий прохідний прес. Температура 65±5°C; тиск для гідравлічного пресу 15±1 МПа, для прохідного валкового пресу 3±1 МПа

1	2	3
3	Нанесення покривної фарби	Пігментний концентрат Лептон N — 100 Lepton Wachs A — 30 Lepton Filler K — 80 Вода — 340
		Corial Binder OT — 120 Lepton Binder LF — 100
		Розпилювальний агрегат для покривного фарбування. Композицію наносити в 2 проходи для шкір темних забарвлень і в 3 проходи для світлих кольорів за витрат фарби 60—90 г/м ²
4	Вібраційно-витягувальне оброблення	Проводять на прохідній витягальній машині по всій площі. Швидкість транспортування напівфабрикату 16—26 см /сек, глибина заходу кілків машини — 7 мм.
5	Нанесення першого закріплення	Corial EM Finish ES — 100 Вода — 100
		Розпилювальний агрегат. Закріплювальний склад наноситься за 1 прохід з витратою 40—45 г/м ²
6	Пресування	Гідравлічний прес з гладкою плитою або валковий прохідний прес. Температура — 70+5°C. Тиск: для гідравлічного пресу 10+1 МПа, для прохідного валкового пресу 3+1 МПа. Допускається заключне пресування після другого закріплення
7	Нанесення другого закріплення	Corial EM Finish ES — 100 Вода — 100
		Розпилювальний агрегат. Закріплювальний склад наноситься за 1 прохід з витратою 45+5 г/м ²
8	Обрізування	Бахрома і непридатні крайові ділянки обрізуються електроножицями
9	Вимірювання площі	Площу вимірюють на прохідних машинах

Фізико-хімічні дослідження оздоблених шкір проводили після кондиціювання відібраних зразків за нормальних умов [12]. Фізико-механічні випробування виконували на машині РТ-250М при швидкості деформування зразків 0,09 м·хв⁻¹. Жорсткість шкіри вимірювали на приладі ПЖУ-12М.

Викладення основних результатів дослідження. Результати дослідження фізико-хімічних властивостей шкір хромового дублення за розробленими технологіями наповнювання-додублювання наведені на рисунку і табл. 3—6. Зменшення витрат імпортованих реагентів за технологією 1 порівняно з діючою технологією на, %: екстракту квебрахо — 10, дисперсій Relugan D і Trupotan G — 33 та жирувального матеріалу Trupol DL — 16% за рахунок використання нанокремнезему А-300 — 1,8% дає можливість одержати натуральний матеріал з підвищеним об'ємним виходом і пористістю відповідно на 13 і 11% (рисунок). При цьому отримані шкіри дещо міцніші з вищим видовженням при навантаженні 10 МПа та розривним (табл. 3). Одночасно збільшується адгезія покриття до сухої і мокрої шкіри на 19 і 26%.

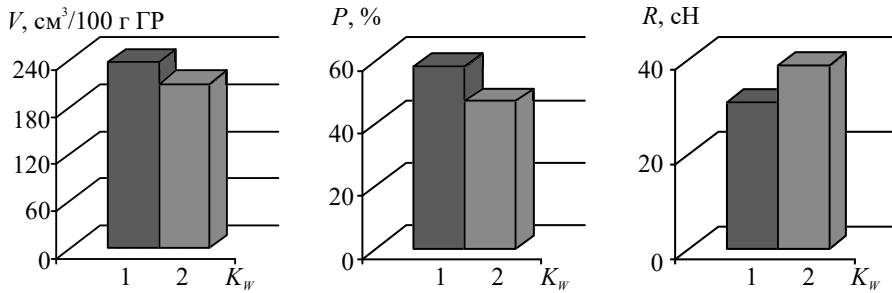


Рис. Залежність властивостей шкіряного матеріалу від складу композиції:
1 — розробленої, 2 — діючої технології;
а — об'ємний вихід, б — пористість, в — жорсткість

Таблиця 3. Фізико-механічні властивості шкіряного матеріалу, отриманого за технологією 1

Показник	Технологія	
	1	діюча
Температура зварювання напівфабрикату, °C	113,0	112,4
Товщина шкіри, мм	1,35	1,29
Межа міцності при розтягуванні, МПа	28,5	27,0
Відносне видовження при навантаженні 10 МПа, %	30,0	27,0
Відносне видовження при розриві, %	62,5	58,0
Маса покривної плівки, г/м²	71,5	73,1
Адгезія покриття, Н/м, до сухої шкіри	1024	860
- до мокрої шкіри	520	410
Стійкість покриття до мокрого тертя, оберти	320	290
- до багаторазового вигинання, тис. вигинів	23,5	19,0

Позитивний вплив розробленого складу наповнювально-додублювальної композиції може бути зумовлений глибокою міжфібрилярною дифузією частинок нанокремнезему А-300 в структуру шкіряного напівфабрикату та рівномірнішим розподілом її інгредієнтів в мікроструктурі матеріалу. Після видалення з матеріалу вологи наявність нанокремнезему А-300 в міжфібрилярних проміжках з пластифікатором Tgipol DL забезпечує збереженість мобільності всієї структури волокнистого матеріалу та підвищення його еластичності.

Розроблена технологія 2 завдяки використанню БКМ дає можливість скоротити витрати імпортованих матеріалів на 38%. Як свідчать отримані дані (табл. 4), шкіряний напівфабрикат, одержаний за розробленою технологією, має меншу жорсткість і більше відносне видовження при навантаженні 10 МПа відповідно на 33 і 77% порівняно з діючою технологією. При цьому досягається вищий об'ємний вихід матеріалу. В той час як за міцністю і відносним видовженням при розриві сформований матеріал відповідає одержаному за діючою технологією.

Незначне зменшення товщини покривної полівки порівняно з промисловою технологією зумовлено дещо більшою всмоктувальною здатністю лицьового шару шкіряного напівфабрикату внаслідок зниження щільності

його структури, одержаного за розробленою технологією 2. У зв'язку з цим спостерігається підвищення адгезії покриття отриманого матеріалу як у сухому, так і мокрому стані, що викликано ефективнішою взаємодією інгредієнтів ґрунту з модифікованим аеросилом колагеном дерми. Особливо це стосується адгезії покриття у мокрому стані, яка на 28% є вищою порівняно із сухим станом шкіри. Зростання стійкості покриття до мокрого тертя насамперед зумовлено підвищенням його пружно-пластичних властивостей. У зв'язку зі зменшенням товщини покривної плівки і меншим рівнем внутрішніх напружень на 24% зростає опір покриття до багаторазового вигинання.

Таблиця 4. Фізико-механічні властивості шкіряного матеріалу, отриманого за технологією 2

Показник	Технологія	
	2	діюча
Температура зварювання напівфабрикату, °С	113,0	111,0
Об'ємний вихід шкіри, см ³ /100 г ГР	239,0	227,0
Пористість зразків, %	55,0	49,0
Повітропроникність, см ³ /см ² ·год.	249,0	237,0
Межа міцності при розтягуванні, МПа	22,5	21,3
Відносне видовження при навантаженні 10 МПа, %	37,3	21,0
Відносне видовження при розриві, %	60,0	57,0
Жорсткість шкіряного напівфабрикату, сН	21,0	28,0
Маса покривної плівки, г/м ²	70,4	72,9
Адгезія покриття, Н/м, до сухої шкіри	1096	830
- до мокрої шкіри	527	390
Стійкість покриття до мокрого тертя, оберти	330	300
- до багаторазового вигинання, тис. вигинів	33,0	24,0
Вихід шкіряного матеріалу, %	105,1	100,0

Введення в шкіряний напівфабрикат нанокремнезему після попередньої пластифікації його структури біокаталітичним модифікатором сприяє збільшенню виходу площі матеріалу на 5,1% порівняно з діючою технологією. Цей ефект може бути обумовлений вищим ступенем орієнтації елементів волокнистої структури шкіряного матеріалу завдяки попередній його пластифікації та наступної фіксації при термомеханічному обробленні на розвідній машині.

Водночас дифузія ґрунту в попередньо пластифікований ензимною обробкою шкіряний напівфабрикат сприяє формуванню дещо меншої товщини покривної плівки і, відповідно, зростанню її адгезії до сухої і мокрої шкіри та опору покриття до багаторазового вигинання. Високоеластичність отриманого шкіряного матеріалу зумовлена комплексом високих пружно-пластичних властивостей як шкіряного напівфабрикату, так і покриття.

Повна заміна екстракту квебрахо нанокремнеземом А-300 в композиції з акриловою дисперсією Retanal RCN-40 за технологією 3 супроводжується збільшенням вмісту жирувального реагенту в матеріалі порівняно з діючою технологією на 8—17% (табл. 5). При цьому щільніша периферійна ділянка містить більше пластифікуючої речовини на 18,7%.

Таблиця 5. Фізико-хімічні властивості шкір світлих кольорів

Показник	Топографічна ділянка	
	чепрак	пола
Масова частка, %: вологи	12,8/13,0	13,1/13,6
- золи	9,5/5,1	9,7/5,6
- оксиду хрому (III)	3,6/3,8	3,8/4,1
- оксид кремнію (IV)	3,2/—	3,9/—
- речовин, що екстрагуються органічними розчинниками	8,0/7,4	9,5/8,1
Межа міцності при розтягуванні, МПа	20,4/19,0	17,0/15,2
Межа міцності лицьового шару, МПа	19,8/17,4	17,0/14,0
Відносне видовження при навантаженні 10 МПа, %	32,0/27,8	38,0/33,0
Відносне видовження при розриві, %	58,0/55,0	64,0/60,0
Жорсткість шкіри, сН	26,0/30,0	24,0/27,0
Вихід площі, %	103,7 / 100,0	

Примітка. Наведені значення показників до і після похилої лінії належать дослідним і контрольним зразкам.

Аналіз фізико-механічних властивостей наповнених шкір світлого кольору свідчить про те, що за комплексом пружно-пластичних характеристик, у тому числі й за міцністю лицьового шару, зразки, отримані за дослідною технологією, перевищують контрольні. Особливо це стосується більших значень деформаційних показників. Причому цей ефект ефективніше виявляється у ділянці поли. Зменшення різниці між показниками поли і чепрака свідчить про підвищення рівномірності розподілу компонентів наповнювально-додублювальної композиції в об'ємі шкіри і підвищення її однорідності структури та властивостей за топографічними ділянками. Підвищені еластичні властивості шкір, наповнених нанокремнезем-акриловою композицією, за розробленою технологією сприяють більшому виходу площі шкіри порівняно з виготовленими за діючою технологією.

Підвищена витрата покривної фарби на 33% при формуванні покриття світлих кольорів на шкіряному напівфабрикаті, наповненому-додубленому без використання танідів (табл. 6), зумовлює підвищення товщини покриття на 9%, але це практично не змінює фізико-механічні властивості покривної плівки. При цьому адгезійні показники покривної плівки, що характеризують її зв'язок з шкіряним матеріалом, забезпечуються, в основному, складом ґрунту.

Таблиця 6. Фізико-механічні властивості покриття білих шкір

Показник	Технологія	
	3	діюча
Маса покривної плівки, г/м ²	80,26	73,7
Адгезія покриття, Н/м, до сухої шкіри	1075	880
- до мокрої шкіри	507	390
Стійкість покриття до мокрого тертя, оберти	320	320
- до багаторазового вигинання, тис. вигинів	19,5	18,5

Слід відзначити зменшення різниці між показниками багаторазового вигинання покриття шкіряних матеріалів, виготовлених за розробленою і промис-

ловою технологіями, що відповідає вимогам до еластичних шкір хромового дублення.

Висновки

1. Проведена промислова апробація розроблених технологій наповнювання-додублювання шкіряного напівфабрикату хромового дублення передбачає використання нанокремнезему А-300, скорочення витрат дефіцитних імпорتنних реагентів, попередню пластифікацію дубленого напівфабрикату, а також повну заміну реагентів, що забарвлюють шкіряний матеріал.

2. Зменшення витрат імпорتنних матеріалів завдяки використанню йонізованого нанокремнезему А-300 за технологією 1 забезпечує формування еластичного шкіряного матеріалу з підвищеними об'ємним виходом і адгезією, відповідно, на 13% і 19—26% порівняно з матеріалом, отриманим за діючою технологією.

3. Використання біокаталітичного модифікатора в технології 2 дало можливість скоротити витрати імпорتنних реагентів на 38% при підвищенні пружно-пластичних показників шкіряного матеріалу, зокрема розривного видовження до 77%. При цьому досягається збільшення виходу площі шкіряного матеріалу на 5,1%.

4. Повна заміна екстракту квебрахо нанокремнеземом А-300 за технологією 3 забезпечує формування шкір світлих кольорів топографічно більш однорідних з підвищенням виходу площі на 3,7%.

5. За комплексом фізико-механічних властивостей шкіряні матеріали, отримані за розробленими технологіями, переважають шкіри, що виготовляються за промисловою технологією і відповідають вимогам щодо еластичних шкір для швейних виробів за ДСТУ 3115-95 та міжнародного стандарту ISO 9001:2015 «Системи управління якістю. Вимоги».

6. Виготовлення шкіряних матеріалів за розробленими технологіями формування еластичних шкіряних матеріалів хромового дублення патенто-обґрунтовані й можуть розглядатись як перспективні для впровадження на підприємствах шкіряного виробництва.

Література

1. Lakshmiarayana Y., Jaisankar S. N., Ramalingam S., Radakrishnan G. A novel water dispersible bentonite-acrylic graft copolymer as a filler cum retanning agent. *J. Amer. Leather Chem. Assoc.* 2002. Vol. 97, No 1. P. 14—22.
2. Mokrousova E., Dzyazko Y., Volkovich Y., Nikolskaya N. Switzerland Nanophysics, Nanophotonics, Surface Studies, and Applications. Springer Proceeding in Physics: Hft IV. Nanochemistry and Biotechnology. 2016. Vol. 183. P. 277—290.
3. D'Aquino A., Barbani N., D'Elia G. et al. Combined organic tanning based on mimosa and oxazolidine: development of a semi-industrial scale process for high-quality bovine upper leather. *SLTC.* 2013. Vol. 1, No 1. P. 9—15.
4. Ma J. Z., Lu H. Elasticity studies on leather retanned with various types of acrylic polymers. *J. Amer. Leather Chem. Assoc.* 2008. Vol. 103, Issue 11. P. 363—369.
5. Taylor M. M., Lee J., Bumanlag L. P., Balada E. H., Brown E. M. Treatments to enhance properties of chrome-free (wet white) leather. *J. Amer. Leather Chem. Assoc.* 2011. Vol. 106. No 2. P. 35—43.

6. Yan L., Luo Z., Fan H., Liu Y., Li H., Peng B., Shi B. Nano-SiO₂ oxazolidine combination tanning: Potential for chrome-free leather. *J. Amer. Leather Chem. Assoc.* 2008. Vol. 92, No 6. P. 252—257.
7. Композиція для наповнення шкіряного напівфабрикату: пат. 116990 Україна. № 201613556; заявл. 29.12.2016; опубл. 12.06.2017, Бюл. 11.
8. Данилкович А.Г., Білінський О.С., Кудзієва А.Ю. Використання високодисперсного оксиду кремнію в технології виготовлення шкіряного напівфабрикату. *Вісник ХНУ. Технічні науки*. 2016. № 6. С. 112—116.
9. Danylkovych A. H., Bilinskiy S. O., Potach Yu. V. Plasticification of leather semifinished chrome tanning. *EUREKA: Physics and engineering*. 2018. No 1. P. 12—18.
10. Білінський С.О., Данилкович А.Г. Виготовлення шкір світлих кольорів з напівфабрикату хромового дублення. *Вісник ХНУ. Технічні науки*. 2018. № 4. С. 102—107.
11. Варбанець Л.Д., Авдіюк К.В., Борзова Н. В. Мікробні α -амілази: виділення, властивості, практичне застосування [Електронний ресурс]. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/-biot_2008_1_2_6 (дата звернення: 21.10.2017).
12. Данилкович А.Г., Чурсин В.И. Аналитический контроль в производстве кожи и меха. Лабораторный практикум : учеб. пособие. Москва: НИЦ Инфра-М, 2016. 176 с.

BIOTECHNOLOGICAL ASPECTS OF WASTEWATER TREATMENT OF ENTERPRISES THAT PROCESS LIVESTOCK PRODUCTS

P. Rebrykova, O. Shydlovska, N. Zholobak, O. Mokrousova

Kyiv National University of Technologies and Design

Key words:

*Biotechnology
Wastewater
Organic contamination
Purification
Immobilized
microorganisms*

Article history:

Received 12.11.2018
Received in revised form
05.12.2018
Accepted 20.12.2018

Corresponding author:

P. Rebrykova
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The article deals with the problem of deterioration of the environment due to the presence of highly concentrated contaminated with organic compounds of wastewater at processing plants livestock products. It is determined that the problem of wastewater treatment has not only an ecological background, but also is related to the inefficient work of the wastewater treatment plants itself, due to the use of outdated technologies and the equipment. The analysis of literary data on the main characteristics of wastewater at these enterprises, existing methods of their purification are carried out.

It has been found out that traditional methods using aeration tanks cannot meet the necessary indicators of wastewater treatment. The advantages of the biological method of wastewater treatment, conditions, and requirements for its use are considered. A number of problems are found which are solved with the involvement of associations of microorganisms. Well known effective associations of microorganisms that are immobilized on the carrier for the purpose of obtaining biomass that directly participates in the purification process are described. But at high pollution rates it is proposed to intensify the processes of biological purification by transferring the treatment plant to the biosorption regime, which increases the efficiency of cleaning by increasing the concentration of active sludge when introducing carriers with immobilized microorganisms.

Examples of modifications of technology in which the parameters of immobilization of microorganisms, the regime of air intake change, are indicated, the expediency of using a certain selected kind of microorganisms and their combination with other types of biological agents are indicated.

It has been established that the advantages of this method are low cost and environmentally friendliness, since the utilization technologies do not require significant structural changes to existing wastewater treatment lines, and as a carrier, it is possible to use various wastes of natural and artificial origin.

БІОТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ПІДПРИЄМСТВ, ЩО ПЕРЕРОБЛЯЮТЬ ПРОДУКТИ ТВАРИННИЦТВА

П.А. Ребрикова, О.А. Шидловська, Н.М. Жолобак, О.Р. Мокроусова
Київський національний університет технологій та дизайну

У статті розглянуто проблему погіршення становища навколишнього середовища через наявність висококонцентрованих, забруднених органічними сполуками стічних вод на підприємствах, що переробляють продукти тваринництва. Визначено, що проблема очищення стічних вод має не тільки екологічне підґрунтя, але також зумовлена неефективною роботою самих очисних споруд, оскільки використовуються застарілі технології, а обладнання є зношеним. Проведено аналіз літературних даних щодо основних характеристик стічних вод таких підприємств, існуючих методів їх очищення.

З'ясовано, що традиційні методи з використанням аеротенків не можуть задовольнити необхідні показники очищення стічної води. Розглянуто переваги біологічного методу очищення стічних вод, умови та вимоги до його використання. Виявлено ряд проблем, які вирішуються при залученні асоціацій мікроорганізмів. Охарактеризовано відомі ефективні асоціації мікроорганізмів, які іммобілізують на носії з метою збільшення біомаси, яка безпосередньо бере участь в процесі очищення. При високих показниках забруднення запропоновано інтенсифікувати процеси біологічного очищення шляхом переведення очисної споруди в режим біосорбції, що підвищує ефективність очищення за рахунок збільшення концентрації активного мулу при введенні носіїв з іммобілізованими мікроорганізмами.

Наведено приклади модифікацій технології, в яких змінюються параметри іммобілізації мікроорганізмів, режим надходження повітря, вказано на доцільність використання певних підібраних родів мікроорганізмів та їх поєднання з іншими видами біологічних агентів.

Встановлено, що перевагами даного методу є дешевизна та екологічність, оскільки технології утилізації не вимагають суттєвих конструкційних змін вже існуючих ліній очищення стічних вод, а як носії можна використовувати різноманітні відходи природного та штучного походження.

Ключові слова: біотехнологія, стічні води, органічне забруднення, очищення, іммобілізовані мікроорганізми.

Постановка проблеми. Сільськогосподарське виробництво є однією із ключових галузей вітчизняної економіки, забезпечуючи дешевою та якісною сировиною харчові, фармацевтичні, шкіряні та інші підприємства України. Процеси обробки такої сировини вимагають залучення великих водних ресурсів, що впливає на стан екосистеми навколишнього середовища. Ситуація погіршується через неефективну роботу очисних споруд, що обумовлено

застарілими технологіями очищення стічних вод і зношеністю самого обладнання. Слід зазначити, що санітарно-гігієнічні умови на тваринницьких фермах також в основному підтримуються за допомогою води. Її використовують для миття тварин, очищення приміщень та їх дезінфекції, підготовки кормів, миття посуду й апаратури, гідрозмиву гною тощо. В середньому, кількість стоків тваринницьких комплексів коливається від 250 до 3000 тонн на добу (від 90 тис. до 1 млн тонн на рік). Тобто стан водних об'єктів постійно погіршується внаслідок скидання неочищених і недостатньо очищених стічних вод. У зоні тваринницьких комплексів основними екологічними проблемами є евтрофікація водойм, нагромадження патогенних мікроорганізмів, забруднення атмосферного повітря сірководнем, аміаком, молекулярним азотом та іншими сполуками.

Слід зазначити, що проблема очищення стічних вод пов'язана з вирішенням не тільки природоохоронних, а й низки техніко-економічних і технологічних завдань, оскільки ситуація погіршується через неефективну роботу очисних споруд, що обумовлено застарілими технологіями очищення стічних вод і зношеністю самого обладнання. Оскільки більшість каналізаційних очисних споруд України збудовані в 60—70-их роках ХХ ст. та не передбачали видалення біогенних елементів (тоді їх концентрація в стічних водах була на порядок нижче), одним із ефективних сучасних методів підвищення ефективності очистки стічних вод є реконструкція діючих каналізаційних очисних споруд, що включатиме суттєву інтенсифікацію їх роботи.

Метою статті є обґрунтування біотехнології обробки стічних вод тваринництва з використанням біологічних методів для підвищення ефективності вилучення органічних забруднюючих речовин та доведення якості очищених стічних вод до чинних нормативів.

Викладення основних результатів дослідження. Відомо, що в сучасних наукових дослідженнях пріоритет надається використанню не тільки екологічних, але й економічно рентабельних методів обробки й утилізації відходів. У цьому контексті запропоновано повторне використання стічних вод тваринництва як технічної води на підприємстві, води для зрошення полів, а також використання осадів як основи для компосту. Але в такому разі стічні води мають відповідати ряду вимог [1], оскільки вони містять різноманітні залишки органічних речовин, а кількість патогенної мікробіоти перевищує гранично допустимі норми. Характеристика стічних вод наведена в табл. 1.

Таблиця 1. Характеристика стічних вод підприємств, що переробляють продукти тваринництва [2]

Показники	Діапазон значень показників
Завислі речовини, мг/дм ³	1500—3000
Загальний азот, мг/дм ³	60—90
Жири, мг/дм ³	700—1200
БСК _{повн} , мг О ₂ /дм ³	1000—1800
pH	6,8—7,4

З усіх відомих методів очищення промислових стічних вод найбільш реальну перспективу до впровадження мають ті, що передбачають використання вже існуючих споруд та обладнання, з їх доопрацюванням або модифікацією параметрів роботи. При високих навантаженнях за забрудненням на очисні споруди одним із раціональних способів є біологічне очищення як один з головних етапів очистки.

Суть біологічного очищення полягає в біохімічному окисленні органічних речовин мікроорганізмами. Для нормального процесу синтезу речовин у клітині, а отже, й ефективного очищення стічної води, у водному середовищі повинна бути достатня концентрація всіх основних елементів живлення — карбону, вміст якого, зазвичай, характеризується величиною біологічно споживаного кисню (БСК), нітрогену і фосфору, співвідношення яких має становити: БСК: азот:фосфор — 100:5:1. При цьому ступінь їх видалення із стічних вод в оптимальних умовах ($t = 25\text{—}30^\circ\text{C}$, $\text{pH} = 6,5\text{—}7,5$, вказане співвідношення біогенних елементів, відсутність токсичних для мікроорганізмів речовин) становить до 90%.

Привабливість цього методу полягає в унікальній здатності мікроорганізмів адаптуватися до вкрай несприятливих умов навколишнього середовища. За рахунок використання асоціацій мікроорганізмів вирішуються такі питання:

- зменшення показників забруднень до встановлених гранично-допустимих норм скиду у водойми;
- відпрацьований активний мул вміщує велику кількість елементів живлення, що дає змогу використовувати його як добриво після попередньої обробки в метантенках присутності патогенної мікрофлори);
- можливе отримання біогазу, за умови використання метантенків, як додаткового джерела палива (утворений газ можна використовувати для підігрівання води та опалення цехів підприємства).
- при одержанні біогазу без доступу повітря перероблюваний гній повністю зберігає азот в органічному добриві (тоді як при його компостуванні майже половина азоту втрачається), що підвищує ефективність його використання в сільському господарстві;
- забезпечується екологічність очищення стічних вод без додаткового використання хімічних реактивів (отримані продукти є повністю засвоюваними природними біоценозами, підтримується колообіг поживних речовин).

Однак при надто високих забрудненнях традиційні методи з використанням аеротенків не завжди можуть задовольнити необхідні показники очищення стічної води підприємств тваринництва. Тому пропонується інтенсифікація процесів біологічного очищення за рахунок введення носіїв з іммобілізованими мікроорганізмами [3; 4]. Доведено, що такі гідробіонти є більш стійкими та ефективними порівняно з вільно плаваючим активним мулом.

В останні роки за допомогою нових молекулярно-біологічних методів в активному мулі виявлено бактерії родів *Paracoccus*, *Caulobacter*, *Hyphomicrobium*, *Nitrobacter*, *Acinetobacter*, *Sphaerotilus*, *Aeromonas*, *Pseudomonas*, *Cytophaga*, *Flavobacterium*, *Flexibacter*, *Halisomenobacter*, *Artrobacter*, *Corynebacterium*,

Microtrix, Nocardia, Rhodococcus, Bacillus, Clostridium, Lactobacillus, Staphylococcus. Вважається однак, що натеper ідентифіковано не більше 5% видів мікроорганізмів, що беруть участь в аеробному очищенні води. Слід зазначити, що багато аеробних бактерій є факультативними анаеробами. Продуктами їх життєдіяльності є вуглекислота, водень, органічні кислоти і спирти.

Численні дослідження очищення стічних вод у реакторах з мікрофлорою, іммобілізованою на інертних носіях, показують, що процес біодеструкції забруднення триває в декілька разів швидше, ніж в інших типах реакторів [5—9].

Так, автори статті [5], розглядаючи шляхи використання мікроорганізмів, акцентують увагу на їх іммобілізації, як важливій складовій, що забезпечує покращення показників очищення стічних вод. Показано, що біоремедіація стічних вод з використанням мікроорганізмів і їх агрегатів визнана ефективною зеленою технологією (оскільки має біологічне походження) з відносно низькою вартістю порівняно зі звичайними фізичними і хімічними процесами обробки.

Мікроорганізми можуть використовуватися двома способами:

- пряме змішування вільних мікроорганізмів із стічними водами (поділу між мікроорганізмами і оброблюваними стічними водами немає);
- мікроорганізми, іммобілізовані в матеріалах для фіксації або інкапсульовані в матрицю (існує чітка межа між мікроорганізмами і оброблюваною водою).

Використання саме іммобілізованих або інкапсульованих різним способом мікроорганізмів вважається більш ефективним, ніж застосування вільних клітин, оскільки це призводить до більш високого завантаження біомаси, легшої роботи на межі тверда речовина—рідина, вищої швидкості біодеградації та забезпечення кращої стабільності роботи, суттєвого захисту від токсичних речовин, підвищеної стабільності плазмід у складі іммобілізованих клітин [6].

Як матеріал для фіксації або для іммобілізації мікроорганізмів усередині біореактора розглядається лігноцелюлозна біомаса, кераміка, а також полімери як природного, так і синтетичного походження. Іммобілізовані клітини на таких носіях мають величезний потенціал для очищення широкого спектра забруднюючих речовин, включаючи фенольні сполуки, вуглеводні, пропіонітрил, органічні та неорганічні барвники, N, N-диметилформамід, піридин, бензол, толуол і ксилол (BTX), важкі метали, а також здатні видаляти зі стічних вод біогенні речовини, такі як азот і фосфор. Однак підкреслюється, що в цій сфері потрібна велика кількість різносторонніх досліджень для розробки систематично інтегрованих технологій і підвищення їх ефективності.

Для очищення сильно забруднених стічних вод, особливо з високим вмістом сполук азоту, досліджено ефективність послідовного ряду анаеробних, аноксидних, аеробних процесів біологічного очищення стічних вод з використанням іммобілізованих мікроорганізмів [7]. З цієї метою в аеробній зоні для кращої аерації іммобілізованих мікроорганізмів пропонується встановлювати напрям руху струменів повітря перпендикулярно напрямку руху води, що дає змогу досягти добової окисної потужності за амонійним азотом до 120—130 г/м³.

Покращити показники очищення можна за рахунок виділення таких родів мікроорганізмів, які якомога краще видаляють необхідний вид забруднення. У [8] безперервний спосіб біологічного очищення стічних вод проводили в аеробних умовах у біореакторі із шаром іммобілізатора. Виділені із стічних вод бактерії роду *Acinetobacter* було іммобілізовано на новий тип керамічного носія за допомогою вакуумного методу. В результаті дослідження кількість колонізованих бактерій склала $2,9 \cdot 10^9$ КУО/г сухого керамічного носія, що значно пришвидшило процес очищення. Система в середньому змогла усунути більше 82% вхідної хімічної потреби на кисень протягом 160 діб.

На сьогодні визначено, що гриби також можуть відігравати важливу роль в очищенні стічних вод від органічних забруднень. Дослідження [9] вказує на те, що всі аналізовані параметри забруднення води за умови застосування мікробних композицій для її очистки є нижчими в експериментальних установках порівняно з контрольними. Тобто і бактерії, і гриби мають здатність очищувати стічні води, хоча і не забезпечують стовідсоткову ефективність видалення токсичних компонентів. Слід зазначити, що серед досліджуваних експериментальних моделей виявлену комбінацію бактерій (*Pseudomonas aeruginosa*) і грибів (*Fusarium oxysporum*), яка потенційно працює краще, ніж при використанні їх окремо. Тобто комбінація має синергетичну дію. Поряд з цим виявлено ще один позитивний момент: іммобілізована асоціація мікроорганізмів пригнічує утворення біоплівки в споруді під час водоочистки [10]. Підтвердженням перспективності застосування композицій мікроорганізмів і грибів є результати дослідження [11]. Автори, досліджуючи вплив вибраних родів і штамів мікроорганізмів на процес очищення стічних вод, виявили, що ефективність видалення такого біогенного елемента, як фосфор суттєво зростає за умови включення до складу ко-іммобілізованих мікроорганізмів *Chlorella spp.* та *Azospirillum brasilense*.

Перевагою біологічного очищення стічних вод є також і те, що як носії можуть використовуватися різноманітні відходи природного та штучного походження, зокрема полімери [12]. На рис. 1 наведено експериментальну установку з волокнистого синтетичного носія, що здешевлює технологію водоочистки та одночасно вирішує низку екологічних проблем.



Рис. 1. Носії з іммобілізованими мікроорганізмами [13]

Так, застосування біологічних препаратів у процесі водоочистки в 5—10 разів підвищує функціональну ефективність очисних споруд [14].

Отже, метод очищення стічних вод із застосуванням іммобілізованої на інертних носіях мікрофлори не тільки не потребує кардинальної реконструкції вже існуючих споруд, а й дає можливість покращити якість очищеної стічної води. Варто зауважити, що, порівнюючи з фізико-хімічними, біологічний метод вимагає більшої тривалості очищення води, що, у свою чергу, збільшує час роботи повітродувки та насосної станції.

Висновки

Визначено основні проблеми обробки стічних вод тваринництва та їх склад. Встановлено, що очищення промислових стічних вод від забруднень органічними сполуками ефективно при використанні біологічного очищення в аеротенках. Процес доцільно інтенсифікувати шляхом переведення очисної споруди в режим біосорбції, що підвищує ефективність очищення за рахунок збільшення концентрації активного мулу.

Технологічно запропонований метод очищення можна реалізувати, попередньо підібравши найбільш ефективні композиції мікроорганізмів, наростивши (іммобілізавши) їх біомасу на носії окремо від біореактора, в якому безпосередньо відбувається процес очищення. Коректна робота в аеротенку передбачає періодичну заміну чи очистку носіїв від відпрацьованої мікрофлори. Перевагами запропонованого підходу є дешевизна й екологічність, оскільки розглянуті технології утилізації не вимагають суттєвих конструкційних змін вже існуючих ліній очищення стічних вод.

Література

1. Води стічні та їх осади в тваринництві та птахівництві. Компости на їх основі. Стандарт Мінагрополітики України. СОУ 41.00-37-688:2007. Зареєстровано 29.12.2007, № 1693 (18 арк.). Київ, 2007.
2. Канализация населенных мест и промышленных предприятий / Н.И. Лихачев, И.И. Ларин, С.А. Хаскин и др.; Под общ. ред. В.Н. Самохина. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Стройиздат, 1981. 639 с.
3. Гвоздяк П.И., Дмитренко Г.П., Куликов Н.И. Очистка промышленных сточных вод прикрепленными микроорганизмами. *Химия и технология воды*. 1985. Т. 7, № 1. С. 64—83.
4. Саблій Л.А. Фізико-хімічне та біологічне очищення висококонцентрованих стічних вод: Монографія. Рівне: НУВГП, 2013. 292 с.
5. Das, M., & Adholeya, A. Potential Uses of Immobilized Bacteria, Fungi, Algae, and Their Aggregates for Treatment of Organic and Inorganic Pollutants in Wastewater. *Water Challenges and Solutions on a Global Scale*. 2015. URL: sci-hub.tw/10.1021/bk-2015-1206.ch015.
6. Martins S.C.S., Martins C.M., Cidrão Guedes Fiúza L.M., Santaella S.T. Immobilization of microbial cells: A promising tool for treatment of toxic pollutants in industrial wastewater. *African Journal of Biotechnology*. 2013, 12(28). P.4412—4418.
7. Blyashyna M. Process of biological wastewater treatment for nitrogen, phosphorus removal by immobilized microorganisms. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. No. 2/10(92). С. 30—37.
8. Kariminia H.-R., Kanda K., Kato F. Wastewater Treatment with Bacteria Immobilized onto a Ceramic Carrier in an Aerated System. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 2003. No. 95(2). P. 128—132.

9. Arumugam, V., & Sivakami, R. Treatment of Dye Industry Effluent Using Immobilized Bacteria and Fungi Isolated from Freshwater Pond Thiruvapur District, Tamil Nadu, India. *Int. J. Curr. Microbiol. App. Sci.* 2016. No. 5(6). P. 596—605.
10. Lee Ch.-H., Lee S.-K., Lee K., Lee S.H., Choi D.-Ch. Container with biofilm formation-inhibiting microorganisms immobilized thereon and membrane water treatment apparatus using the same / US 2016/0030890 A1, Pub. Date: Feb. 4, 2016.
11. Hernandez J.-P., de-Bashan L.E., Bashan Y. Starvation enhances phosphorus removal from wastewater by the microalga *Chlorella* spp. co-immobilized with *Azospirillum brasilense* Hernandez. *Enzyme and Microbial Technology*. 2006. No. 38. P. 190—198.
12. Kardenia E., Ridhati S.L., Helmy Q. Molecular imprinted hydrogel polymer (MIHP) as microbial immobilization media in artificial produced water treatment / The 4th International Seminar on Sustainable Urban Development IOP Publishing IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 106. 2018. 012088. doi :10.1088/1755-1315/106/1/012088).
13. Бляшина М.В., Саблій Л.А. Технологія та обладнання для анаеробно-аеробного очищення стічних вод. Матеріали виставки и конференції «Сотрудничество для решения проблемы отходов». 2012. URL: <https://waste.ua/eco/2012/wastewater/treatment/>.
14. Бляшина М.В. Енергозбереження в очищенні стічних вод за рахунок анаеробно-аеробних процесів. *Виробничо-практичний журнал «Водопостачання та водовідведення»*. Київ, 2011. № 6. С. 55—58.

DESTRUCTION OF BIOFILMS UNDER ACTION OF SURFACTANTS SYNTHESIZED BY *NOCARDIA VACCINII* IMV B-7405 ON WASTE OF BIODIESEL PRODUCTION

T. Pirog, L. Nikitiuk, K. Kondrashevskaya, I. Kluchka

National University of Food Technologies

Key words:

Nocardia vaccinii IMV
B-7405
Industrial waste
Surfactants
Biofilm disruption

Article history:

Received 09.11.2018
Received in revised form
23.11.2018
Accepted 18.12.2018

Corresponding author:

T. Pirog
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

Nowadays, the research of safe and effective compounds that would prevent the adhesion of microorganisms to surfaces, or destroy biofilm on various surfaces remains relevant. About 65—80% of all infectious diseases are caused by bacteria that form biofilms on the surface of medical implanted equipment (lenses, catheters, prostheses, artificial heart valves) or in food industry. Modern technologies of destruction of microbial biofilms involve the use of mechanical, physical, chemical and biological methods. In recent years, biological methods have been favored due to their high efficiency, prolonged action and safety for humans and the environment.

In the article the effect on disruption of bacterial and yeast biofilms of surfactants synthesized by *Nocardia vaccinii* IMV B-7405 on purified glycerol and waste biodiesel production was compared. The dependence of biofilms destruction under action of *N. vaccinii* IMV B-7405 surfactants on degree of glycerol purification, duration of producer cultivation, surfactant concentration and type of test culture was established. Increasing duration of IMV B-7405 cultivation from 5 to 7 days on purified glycerol was accompanied by synthesis of surfactants, in the presence of which destruction of biofilms of *Bacillus subtilis* BT-2, *Pseudomonas* sp. M-2 and *Candida albicans* D-6 declined. At the same time, disruption of biofilms under action of surfactants (140—280 µg/ml), synthesized during 7 days on waste biodiesel production, was 11—15% higher than in presence of preparations obtaining on this substrate during 5 days.

Replacing purified glycerol with waste of biodiesel production for *N. vaccinii* IMV B-7405 cultivation allows to dispose toxic waste, reduce cost of surfactants and obtain the final product with high anti-adhesive activity.

РУЙНУВАННЯ БІОПЛІВОК ЗА ДІЇ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ РЕЧОВИН, СИНТЕЗОВАНИХ *NOCARDIA VACCINII* ІМВ В-7405 НА ВІДХОДАХ ВИРОБНИЦТВА БІОДИЗЕЛЮ

Т.П. Пирог, Л.В. Никитюк, К.Р. Кондрашевська, І.В. Ключка

Національний університет харчових технологій

Нині актуальним залишається пошук безпечних та ефективних сполук, які б перешкоджали адгезії мікроорганізмів до поверхонь або ж руйнували вже існуючої біоплівки на різноманітних поверхнях. Серед усіх інфекційних захворювань близько 65—80% спричиняються бактеріями, які формують біоплівки на поверхні медичного імплантованого обладнання (лінзи, катетери, протези, штучні серцеві клапани) або харчової промисловості. Сучасні технології руйнування мікробних біоплівок передбачають використання механічних, фізичних, хімічних і біологічних методів. В останні роки перевага надається біологічним методам завдяки їх високій ефективності, пролонгованій дії, безпечності для людини і навколишнього середовища.

У статті порівняно вплив на руйнування бактеріальних і дріжджових біоплівок поверхнево-активних (ПАР), синтезованих *Nocardia vaccinii* ІМВ В-7405 на очищеному гліцерині і відходах виробництва біодизелю. Встановлено залежність ступеня руйнування біоплівок під впливом ПАР *N. vaccinii* ІМВ В-7405 від ступеня очищення гліцерину, тривалості культивування продуцента, концентрації ПАР у препаратах та типу тест-культури. Збільшення тривалості культивування штаму ІМВ В-7405 з 5 до 7 діб на очищеному гліцерині супроводжувалося синтезом поверхнево-активних речовин, за наявності яких ступінь руйнування біоплівок *Bacillus subtilis* БТ-2, *Pseudomonas* sp. М-2 і *Candida albicans* Д-6 знижувався. У той же час деструкція біоплівок за дії ПАР (140—280 мкг/мл), синтезованих упродовж 7 діб на відходах виробництва біодизелю, була на 11—15% вищою, ніж за наявності поверхнево-активних речовин, утворених на цьому субстраті упродовж 5 діб.

Заміна очищеного гліцерину на відходи виробництва біодизелю у середовищі культивування *N. vaccinii* ІМВ В-7405 дає змогу утилізувати токсичні відходи, знизити собівартість ПАР і отримати цільовий продукт з високою антиадгезивною активністю.

Ключові слова: *Nocardia vaccinii* ІМВ В-7405, промислові відходи, поверхнево-активні речовини, деструкція біоплівки.

Постановка проблеми. Бактерії здатні адгезуватися на поверхні різних матеріалів і формувати біоплівку, небезпека утворення якої полягає в тому, що прикріплені мікробні клітини набувають резистентності до антимікробних препаратів [1—3]. Пошук безпечних та ефективних засобів, які б перешкоджали адгезії мікроорганізмів до різноманітних поверхонь або ж руйнували архітектуру вже існуючої біоплівки, є актуальним, оскільки колонізація

бактеріями імплантатів, катетерів та інших медичних поверхонь призводить до інфікування пацієнтів з летальними випадками. Біоплівкоутворення на робочих поверхнях обладнання у харчовій промисловості спричиняє псування готової продукції.

Нині відомо багато способів руйнування мікробних біоплівок, зокрема застосування неорганічних сполук, хімічних препаратів, антибіотиків та бактеріофагової терапії [3]. Проте виникнення у мікроорганізмів резистентності до антибіотиків та інших біоцидів, дорожняча багатьох методів запобігання утворенню та руйнуванню біоплівок стимулювала пошук нових речовин з відповідними властивостями.

Мікробні ПАР розглядаються як альтернативна заміна хімічно-синтезованих речовин, тому що їм притаманні ряд переваг (біодеградабельність, нетоксичність, стабільні фізико-хімічні властивості, низький ризик появи резистентних мікроорганізмів) [4].

Проте практичне використання мікробних ПАР обмежується їх високою собівартістю. Здешевлення технології виробництва цільового продукту можна досягти культивуванням штаму-продуцента на промислових відходах, зокрема відходах виробництва біодизелю, зберігання яких є потенційною екологічною проблемою через підвищену лужність, вміст залишків токсичного метанолу, високої концентрацій солей і вільних жирних кислот [5].

Раніше [6] нами було показано, що поверхнево-активні речовини, синтезовані за умов росту *Nocardia vaccinii* ІМВ В-7405 на очищеному гліцерині, характеризувалися високою здатністю до руйнування біоплівки *Escherichia coli* ІЕМ-1 на полістиролі (ступінь руйнування близько 80%).

У [7] ми встановили можливість інтенсифікації синтезу ПАР *N. vaccinii* ІМВ В-7405 на відходах виробництва біодизелю, одержаних безпосередньо від заводу-виробника. Разом з тим наші попередні дані [8] засвідчують, що не завжди підвищення синтезу ПАР супроводжується утворенням цільового продукту з необхідними біологічними властивостями, що потребує проведення досліджень залежності властивостей поверхнево-активних речовин від умов культивування продуцента.

Мета статті: порівняння впливу на руйнування бактеріальних і дріжджових біоплівок поверхнево-активних (ПАР), синтезованих *N. vaccinii* ІМВ В-7405 на очищеному гліцерині і відходах виробництва біодизелю.

Матеріали і методи. Об'єкт дослідження — ізольований нами із забрудненого нафтою ґрунту штам нафтоокиснювальних бактерій, ідентифікований як *Nocardia vaccinii* К-8 та зареєстрований в Депозитарії мікроорганізмів Інституту мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного Національної академії наук України за номером ІМВ В-7405.

Як тест-культури для утворення біоплівки використовували бактерії *Bacillus subtilis* БТ-2, *Escherichia coli* ІЕМ-1, *Pseudomonas* sp. М-2 і дріжджі *Candida albicans* Д-6 з колекції живих культур кафедри біотехнології і мікробіології Національного університету харчових технологій.

N. vaccinii ІМВ В-7405 вирощували в колбах на качалці (320 об/хв) при 30°C упродовж 5–7 діб в рідкому мінеральному середовищі такого складу (г/л): NaNO_3 — 0,5; $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ — 0,1; CaCl_2 — 0,1; KH_2PO_4 — 0,1;

$\text{FeSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ — 0,001, дріжджовий автолізат — 0,5% (об'ємна частка). Як джерело вуглецю використовували очищений гліцерин у концентрації 2% (об'ємна частка), а також відходи виробництва біодизелю (Комсомольський біопаливний завод, Полтавська обл.) (2 %, об'ємна частка).

Як посівний матеріал використовували культуру в експоненційній фазі, вирощену на середовищі наведеного складу з 0,5% відповідного субстрату. Інокулят, в якому чисельність бактерій становила 10^4 — 10^5 кл/мл, вносили у кількості 10% від об'єму середовища.

Кількість синтезованих позаклітинних ПАР (г/л) визначали ваговим методом після екстракції з супернатанту культуральної рідини, модифікованою сумішшю Фолча. Для отримання супернатанту культуральну рідину центрифугували при 5000 g протягом 20 хв. Виділення позаклітинних ПАР здійснювали, як описано нижче.

У циліндричну ділильну лійку об'ємом 500 мл поміщали 100 мл супернатанту, додавали 20 мл 1 М розчину HCl, воронку закривали шліфованою пробкою і струшували 3 хв, потім додавали ще 15 мл 1 М розчину HCl і 65 мл суміші хлороформу і метанолу (2:1) і струшували (екстрагування ліпідів) протягом 5 хв. Отриману після екстракції суміш залишали в ділильній воронці для поділу фаз, після чого нижню фракцію зливали (органічний екстракт 1), а водну фазу піддавали повторній екстракції. При повторній екстракції до водної фази додавали 35 мл 1 М розчину HCl і 65 мл суміші хлороформу і метанолу (2:1) й екстрагували ліпіди протягом 5 хв. Після поділу фаз зливали нижню фракцію, отримуючи органічний екстракт 2. На третьому етапі до водної фази додавали 100 мл суміші хлороформу і метанолу (2:1) і здійснювали екстракцію, як описано вище, отримуючи органічний екстракт 3. Екстракти 1—3 об'єднували й упарювали на роторному випарнику IP-1M2 (Росія) при 50°C і абсолютному тиску 0,4 атм до постійної маси. Всі препарати стерилізували при 112 °C протягом 30 хв.

У дослідженнях використовували препарати ПАР *N. vaccinii* IMB B-7405 різного ступеня очищення:

препарат 1 — супернатант культуральної рідини, для одержання якого постферментаційну культуральну рідину центрифугували упродовж 45 хв (5000 g) для осадження біомаси;

препарат 2 — розчин ПАР, виділених з супернатанту (препарат 1) екстракцією сумішшю Фолча, як кописано вище. Сухий залишок ПАР перерозчиняли в стерильному фосфатному буфері (0,1 М, рН 7,0) до вихідного об'єму.

Дослідження впливу ПАР на руйнування біоплівки здійснювали, як описано у [9]. Для формування біоплівки у полістиролові мікропланшети вносили 180 мкл м'ясо-пептонного бульйону (МПБ) для бактерій або рідкого суслу (для дріжджів) та 20 мкл суспензії одноклонової тест-культури, інкубували упродовж 24 год при оптимальній для тест-культури температурі, після чого зливали культуральну рідину і вносили 180 мкл свіжого МПБ чи рідкого суслу і 20 мкл суспензії тест-культури і ще інкубували впродовж наступних 24 год. Через 48 год культуральну рідину зливали, а в лунки мікропланшета (з попередньо сформованою на них біоплівкою тест-культури) вносили по 200 мкл препаратів ПАР різної концентрації. У контрольні варіанти (лунки)

замість препаратів ПАР вносили стерильну водопровідну воду (200 мкл). Через 24 год експозиції лунки тричі промивали 200 мкл дистильованої води і визначали кількість адгезованих клітин спектрофотометричним методом. Ступінь руйнування біоплівки (%) визначали як різницю між адгезією клітин у необроблених і оброблених ПАР лунках полістиролового планшету.

Всі досліди проводили в трьох повторностях, кількість паралельних визначень в експериментах становило від 3 до 5. Статистичну обробку експериментальних даних проводили, як описано раніше [7]. Відмінності середніх показників вважали достовірними при рівні значущості $p < 0,05$.

Результати і обговорення. У [10] нами було встановлено залежність антимікробної активності ПАР *N. vaccinii* IMB B-7405 від тривалості культивування продуцента на різних вуглецевих субстратах. Так, поверхнево-активні речовини, синтезовані упродовж 7 діб на рафінованій і відпрацьованій соняшникової олії, виявилися ефективнішими антимікробними агентами щодо фітопатогенних бактерій, ніж ПАР, утворювані на 5 добу культивування продуцента на цих субстратах. Збільшення з 5 до 7 діб тривалості вирощування.

N. vaccinii IMB B-7405 як на очищеному, так і технічному гліцерині супроводжувалося синтезом ПАР, антимікробна активність яких щодо більшості досліджуваних тест-культур знижувалася у 1,5—2 рази. У той же час дослідження, наведені в [6], показали, що збільшення тривалості культивування *N. vaccinii* IMB B-7405 на очищеному гліцерині до 7 діб супроводжувалося синтезом ПАР, обидва препарати яких (супернатант, розчин ПАР) руйнували біоплівку *E. coli* IEM-1 на 72—80% тільки за найнижчих концентрацій (8,75—17,5 мкг/мл). Збільшення концентрації ПАР у таких препаратах супроводжувалося зниженням ступеня руйнування біоплівки до 22—59%. Ці результати ми пояснювали тим, що під час культивування штаму IMB B-7405 з 5-ї по 7-му добу синтезуються не тільки ПАР, а й інші метаболіти, що можуть маскувати їх дію як деструкторів біоплівки.

У зв'язку з цим ми досліджували залежність ступеня руйнування біоплівок за дії ПАР від тривалості культивування штаму IMB B-7405.

У табл. 1 наведено дані щодо деструкції біоплівок за наявності ПАР *N. vaccinii* IMB B-7405, синтезованих на очищеному гліцерині упродовж 5 і 7 діб.

Таблиця 1. Вплив тривалості культивування *N. vaccinii* IMB B-7405 на очищеному гліцерині на здатність ПАР руйнувати бактеріальні та дріжджові біоплівки

Тривалість культивування, діб	Препарат	Концентрація ПАР, мкг/мл	Руйнування біоплівки, %		
			<i>B. subtilis</i> БТ-2	<i>Pseudomonas</i> sp. М-2	<i>C. albicans</i> Д-6
5	розчин ПАР	140	57	60	27
		280	51	54	22
	супернатант	140	53	52	21
		280	51	52	20
7	розчин ПАР	140	36	56	20
		280	34	52	18
	супернатант	140	29	52	16
		280	23	48	15

Примітка. Під час визначення ступеня руйнування біоплівки похибка не перевищувала 5%.

Зазначимо, що на відміну від *E. coli* IEM-1, руйнування біоплівки якої на 70—80% досягалося за низьких концентрацій ПАР штаму IMB B-7405 [6], деструкція біоплівок інших бактеріальних тест-культур (*B. subtilis* БТ-2 і *Pseudomonas* sp. М-2) на рівні 50—60% спостерігалася за вищих на порядок концентрацій поверхнево-активних речовин (табл. 1). Причому ступінь руйнування біоплівки *Pseudomonas* sp. М-2 залишався практично однаковим, незалежно від ступеня очищення препарату (супернатант, розчин ПАР), концентрації ПАР і тривалості вирощування продуцента, у той час як деструкція біоплівки *B. subtilis* БТ-2 суттєво (на 20—30%) знижувалася за наявності ПАР, синтезованих упродовж тривалішого часу культивування продуцента.

Схожі закономірності спостерігали щодо деструкції біоплівки *C. albicans* Д-6, але при цьому ступінь руйнування був більш ніж у два рази нижчим за бактеріальні тест-культури, а різниця між деструкцією цієї біоплівки за наявності ПАР, синтезованих за 5 і 7 діб, була значно меншою і становила всього 4—7% (див. табл. 1).

На наступному етапі аналізували вплив ПАР, утворюваних *N. vaccinii* IMB B-7405 на відходах виробництва біодизелю. Оскільки концентрація ПАР, синтезованих на гліцерині різного ступеня очищення, виявилася різною (табл. 2), для досліджень деструкції біоплівок препарати розводили до однакової концентрації ПАР (140—280 мкг/мл, табл. 3).

Таблиця 2. Синтез ПАР *N. vaccinii* IMB B-7405 на очищеному гліцерині і відходах виробництва біодизелю

Субстрат для синтезу ПАР	Тривалість культивування, діб	Концентрація ПАР, г/л
Очищений гліцерин	5	2,0±0,10
	7	2,2±0,11
Відходи виробництва біодизелю	5	4,4±0,22
	7	4,5±0,23

Дані, наведені у табл. 3, засвідчують, що ступінь руйнування біоплівок бактеріальних тест-культур за дії супернатантів, одержаних з культуральної рідини після вирощування *N. vaccinii* IMB B-7405 на відходах виробництва біодизелю, є дещо нижчим порівняно з використанням розчинів відповідних ПАР, проте (на відміну від культивування на очищеному гліцерині) збільшення тривалості культивування продуцента супроводжувалося утворенням препаратів, за наявності яких деструкція біоплівок підвищувалася практично до показників, встановлених для ПАР, утворюваних упродовж 5 діб на очищеному гліцерині (див. табл. 1). Оскільки концентрація ПАР, синтезованих упродовж 5 і 7 діб на відходах виробництва біодизелю, є практично однаковою (див. табл. 2), можна припустити, що до кінця культивування на цьому субстраті змінюється співвідношення складових комплексу ПАР в результаті їх взаємоперетворень, наприклад, за рахунок глікозилювання чи амінування нейтральних ліпідів.

У той же час ступінь руйнування дріжджової біоплівки практично не залежав від ступеня очищення препарату (супернатант, розчин ПАР), концентрації ПАР і тривалості вирощування продуцента на відходах виробництва біодизелю (див. табл. 3).

Таблиця 3. Руйнування біоплівки за наявності ПАР, синтезованих *N. vaccinii* IMB B-7405 на відходах виробництва біодизелю

Тривалість культивування, діб	Препарат	Концентрація ПАР, мкг/мл	Руйнування біоплівки, %			
			<i>E. coli</i> IEM-1	<i>B. subtilis</i> БТ-2	<i>Pseudomonas</i> sp. М-2	<i>C. albicans</i> Д-6
5	розчин ПАР	140	40	40	46	24
		280	33	32	40	23
	супернатант	140	28	30	25	21
		280	20	26	20	19
7	розчин ПАР	140	43	55	60	25
		280	38	53	52	24
	супернатант	140	35	31	50	22
		280	27	29	29	20

Примітка. Під час визначення ступеня руйнування біоплівки похибка не перевищувала 5%.

Зазначимо, що інформація щодо біологічних властивостей мікробних ПАР, синтезованих на промислових відходах, є нечисленною. Разом з тим наявні відомості про використання для руйнування біоплівки поверхнево-активних речовин, синтезованих на традиційних субстратах. Порівняння одержаних нами результатів з даними літератури наведено у табл. 4.

Таблиця 4. Порівняльна характеристика різних мікробних ПАР щодо їх впливу на біоплівки

Субстрат для синтезу ПАР	Продуцент ПАР	Концентрація ПАР, мг/мл	Тест-культури	Ступінь руйнування біоплівки, %	Джерело
1	2	3	4	5	6
Відходи виробництва біодизелю	<i>Nocardia vaccinii</i> IMB B-7405	0,14	<i>Escherichia coli</i> IEM-1	28–43	Ця стаття
			<i>Bacillus subtilis</i> БТ-2	26–55	
			<i>Pseudomonas</i> sp. М-2	20–60	
			<i>Candida albicans</i> Д-6	19–25	
Рафінована кукурудзяна олія	<i>Corynebacterium xerosis</i> NS5	100	<i>Escherichia coli</i> ATCC 8739	66	[11]
			<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 9027	30	
Очищений гліцерин	<i>Lactobacillus jensenii</i> 25258 та <i>L. rhamnosus</i> 7469	50	<i>Escherichia coli</i> EC433	75	[12]
Очищений гліцерин	<i>Enterococcus faecium</i> MRTL 9	1,56	<i>Escherichia coli</i> ATCC 25922	41	[13]
			<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 15442	40	
			<i>Candida albicans</i> MTCC 183	20	

Продовження табл. 4

1	2	3	4	5	6
Очищений гліцерин	<i>Candida sphaerica</i> UCP 0995	10	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC10145	80	[14]
Сахароза	<i>Bacillus amyloliquefaciens</i> AR2	1	<i>Candida albicans</i> MTCC 183	54	[15]
Очищений гліцерин	<i>Burkholderia thailandensis</i> E264	0,4	<i>Bacillus subtilis</i> BVK006	80	[16]
Глюкоза	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> ATCC 9027			60	

Дані табл. 4 засвідчують, що в літературі представлені відомості про руйнування біоплівок умовно патогенних мікроорганізмів за впливу мікробних ПАР, синтезованих на таких субстратах, як очищений гліцерин, вуглеводи та рафінована олія. При цьому відсоток руйнування біоплівок тест-культур є у деяких випадках більший, ніж за наявності ПАР, синтезованих *N. vaccinii* IMB B-7405 на відходах виробництва біодизелю, проте концентрації ПАР, за яких відбувалася деструкція, були на порядки вищими, ніж встановлені нами у пропонуваному дослідженні для ПАР штаму IMB B-7405.

Так, наприклад, за дії ПАР *Corynebacterium xerosis* NS5 у концентрації 100 мг/мл, синтезованих на рафінованій кукурудзяній олії, спостерігали руйнування біоплівки *E. coli* та *P. aeruginosa* на 66 та 30% відповідно [11]. У разі використання високої (1,56 мг/мл) концентрації ПАР *E. faecium* MRTL 9, одержаних на очищеному гліцерині, деструкція біоплівок *E. coli*, *P. Aeruginosa* та *C. albicans* становила 41, 40 та 20% відповідно [13].

Висновок

Отже, незважаючи на нижчий ступінь деструкції бактеріальних біоплівок за наявності ПАР, синтезованих *N. vaccinii* IMB B-7405 на відходах виробництва біодизелю (порівняно з використанням ПАР, одержаних на очищеному гліцерині), ці показники (руйнування до 50—60% біоплівок при концентрації ПАР 140 мкг/мл) є порівнянними (а в деяких випадках і перевищують) з визначеними для відомих у світі мікробних поверхнево-активних речовин.

Крім того, одержані нами результати вказують, що заміна очищеного гліцерину в середовищі культивування *N. vaccinii* IMB B-7405 на відходи виробництва біодизелю дає змогу, по-перше, підвищити рентабельність такого виробництва, по-друге, утилізувати токсичні відходи, по-третє, здешевити процес біосинтезу ПАР, по-четверте, одержати цільовий продукт з високою здатністю до руйнування біоплівок умовно патогенних і патогенних мікроорганізмів.

Залежність біологічних властивостей мікробних поверхнево-активних речовин від тривалості процесу і «якості» використовуваного субстрату засвідчують необхідність проведення досліджень з впливу умов культивування продуцентів на властивості цільового продукту.

Література

1. Maganaa M., Seretia C., Ioannidisa A., Mitchell C. A., Balle A. R., Magiorkinis E., Chatzipanagiotou S., Hamblin M. R., Hadjifrangiskou M., Tegos G. P. Options and limitations in clinical investigation of bacterial biofilms. *Clin. Microbiol. Rev.* 2018, 31(3). pii: e00084-16. doi: 10.1128/CMR.00084-16.
2. Jałowiecki Ł., Żur J., Chojniak J., Ejhed H., Plaza G. Properties of antibiotic-resistant bacteria isolated from onsite wastewater treatment plant in relation to biofilm formation. *Curr. Microbiol.* 2018, 75(5): 639–649. doi: 10.1007/s00284-017-1428-2.
3. van Tilburg Bernardes E., Lewenza S. Reckseidler-Zenteno S. Current research approaches to target biofilm infections. *Postdoc J.* 2015, 3(6): 36–49.
4. Banat I.M., De Rienzo M.A., Quinn G.A. Microbial biofilms: biosurfactants as antibiofilm agents. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2014, 98(24): 9915–9929. doi: 10.1007/s00253-014-6169-6.
5. Garlapati V.K., Shankar U., Budhiraja A. Bioconversion technologies of crude glycerol to value added industrial products. *Biotechnol. Rep. (Amst).* 2015, 9: 9–14. doi: 10.1016/j.btre.2015.11.002.
6. Pirog T., Nikitiuk L., Kondrashevska K., Kluchka I. Influence of surfactants synthesized under different cultivation conditions of *Nocardia vaccinii* IMV B-7405 on *Escherichia coli* IEM-1 biofilm destruction. *Scientific Works of NUFT.* 2017, 23(2): 23–30. Ukrainian.
7. Pirog T., Shulyakova M., Sofilkanych A., Shevchuk T., Maschenko O. Biosurfactant synthesis by *Rhodococcus erythropolis* IMV Ac-5017, *Acinetobacter calcoaceticus* IMV B-7241, *Nocardia vaccinii* IMV B-7405 on byproduct of biodiesel production. *Food Bioprod. Proces.* 2015, 93(1): 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2013.09.003>.
8. Pirog T., Nikitiuk L., Sidor I., Paliichuk O., Petrenko N. Antimicrobial activity of surfactants synthesized by *A. calcoaceticus* IMV B-7241, *R. erythropolis* IMV Ac-5017 and *N. vaccinii* IMV B-7405 on industrial waste. *Scientific Works of NUFT.* 2017, 23(5, Pt 2): 8–16. doi:10.24263/2225-2924-2017-23-5-2-3. Ukrainian.
9. Gomes M-Z.V., Nitschke M. Evaluation of rhamnolipids surfactants as agents to reduce the adhesion of *Staphylococcus aureus* to polystyrene surfaces. *Lett. Appl. Microbiol.* 2012, 49(1): 960–965.
10. Pirog T., Nikitiuk L., Tymoshuk K. Influence of the duration of cultivation on antimicrobial properties of *Nocardia vaccinii* IMV B-7405 surfactants. *Scientific Works of NUFT.* 2016, 22(5): 25–32. Ukrainian.
11. Dalilia D., Aminib M., Faramarzic M. A., Fazelia M. R., Khoshayanda M. R., Samadi N. Isolation and structural characterization of Coryxin, a novel cyclic lipopeptide from *Corynebacterium xerosis* NS5 having emulsifying and anti-biofilm activity. *Colloids Surf. B: Biointerfaces.* 2015, 135: 425–432. doi: 10.1016/j.colsurfb.2015.07.005.
12. Sambanthamoorthy K., Feng X., Patel R., Patel S., Paranavitana C. Antimicrobial and antibiofilm potential of biosurfactants isolated from lactobacilli against multi-drug-resistant pathogens. *BMC Microbiol.* 2014, 14:197. doi: 10.1186/1471-2180-14-197.
13. Sharma D., Saharan B. S., Chauhan N., Procha S., Lal S. Isolation and functional characterization of novel biosurfactant produced by *Enterococcus faecium*. *Springerplus.* 2015, 4:4. doi: 10.1186/2193-1801-4-4.
14. Padmavathi A. R., Pandian S. K. Antibiofilm activity of biosurfactant producing coral associated bacteria isolated from gulf of mannar. *Indian J. Microbiol.* 2014, 54(4): 376–382. doi: 10.1007/s12088-014-0474-8.
15. Rautela R., Singh A.K., Shukla A., Cameotra S.S. Lipopeptides from *Bacillus strain* AR2 inhibits biofilm formation by *Candida albicans*. *Antonie van Leeuwenhoek.* 2014, 105(5): 809–821. doi: 10.1007/s10482-014-0135-2
16. De Rienzo M.A.D., Martin P.J. Effect of mono and di-rhamnolipids on biofilms preformed by *Bacillus subtilis* BBK006. *Curr. Microbiol.* 2016, 73(2): 183–189. doi: 10.1007/s00284-016-1046-4.

TRANSFORMATIONS OF PROTEIN IN POLYMERS OF ANIMAL ORIGIN

O. Okhmat, O. Mokrousova, L. Maistrenko

Kyiv National University of Technologies and Design

Key words:

*Collagen structure
Liming processes of skin
production
Hydroxyl and carboxyl-
containing products
Protein transformation*

Article history:

Received 08.11.2018
Received in revised form
22.11.2018
Accepted 10.12.2018

Corresponding author:

O. Okhmat
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The skin of animals is a biological object. Its structure is formed by the spatial form of collagen. In the technology of production, the structure of the protein undergoes chemical, physical and mechanical transformation. The processes of production of genuine leather are based on the effect of chemical reagents on the protein component. This action leads to the separation or structuring of the collagen structure (of the dermis). The most effective separation of protein structure undergoes an ash process under the influence of alkaline materials.

The article is devoted to studying changes of properties of collagen in liming processes under the influence of hydroxyl and carboxyl-containing products. The authors studied changes in the protein structure in order to influence the cockle of the hides of cattle. Studies are carried out for systems of fermented protein.

To investigate the transformation of collagen a surface tension has been determined, turbidimetric titration has been performed on the level of the number of molecules. It is shown that the largest protein transformation is observed with the stepwise introduction of hydroxyl- and carboxyl-containing products. The combination of the proposed materials allows to directly influence the skin folds. Structural integrity of the dermis is not violated.

DOI: 10.24263/2225-2924-2018-24-6-9

БІЛКОВІ ТРАНСФОРМАЦІЇ У БІОПОЛІМЕРАХ ТВАРИННОГО ПОХОДЖЕННЯ

О.А. Охмат, О.Р. Мокроусова, Л.А. Майстренко

Київський національний університет технологій та дизайну

Шкіряний покрив тварин є біологічним об'єктом, структура якого утворена просторовою формою колагену. В технології виробництва шкіри колагенова структура, яка містить велику кількість активних груп різної природи, піддається хімічній, фізичній і механічній трансформації. Дія хімічних реагентів на білкову складову призводить до розділення або структурування колагенової структури (дерми). Найефективнішого розділення білкова струк-

тура зазнає при проведенні відмочувально-зольних (підготовчих) процесів під дією лужних матеріалів.

Стаття присвячена вивченню змін властивостей колагену дерми у відмочувально-зольних процесах під впливом гідроксил- і карбоксилвмісних продуктів. Авторами вивчаються зміни білкової структури з метою впливу на такий дефект шкіри великої рогатої худоби, як борушистість (складки вороткової частини). Дослідження проводять для систем виплавленого білка.

Для вивчення трансформації колагену проведено ряд реологічних досліджень, визначено поверхневий натяг, рівень формолового числа, виконано турбидиметричне титрування. Доведено, що найбільша трансформація білка спостерігається при стадійному введенні гідроксил- та карбоксилвмісних продуктів. Комбінація запропонованих матеріалів дає змогу вплинути безпосередньо на складки шкіри, не порушуючи при цьому структурну цілісність дерми.

Ключові слова: структура колагену, підготовчі процеси виробництва шкіри, гідроксил- і карбоксилвмісні продукти, трансформація білка.

Постановка проблеми. Шкіряний покрив тварин — біологічний об'єкт, утворений просторовою формою основного білка (колагену). Колаген є амфотерним електролітом з властивостями гідрофільного матеріалу з обмеженим ступенем набухання. За рівня рН, близького до ізоелектричної точки, і за відсутності інших електролітів колаген набуває властивостей біполярного іону і стає електронейтральним. У лужному середовищі колаген набуває від'ємного заряду, в кислому — позитивного.

Колаген характеризується структурною упорядкованістю, в якій розрізняють декілька послідовних рівнів [1]: первинний (послідовність розташування амінокислотних залишків у поліпептидних ланцюгах), вторинний (просторова конформація цих поліпептидних ланцюгів), третинний (розташування поліпептидних ланцюгів у структурі тропоколагенової частинки) і четвертинний (утворення фібрил з тропоколагенових частинок).

Розрізняють також мікро- і макрогістоструктуру колагену. Мікроструктура характеризує просторове розташування фібрил всередині колагенових волокон і їх пучків; макроструктура — просторове сплетення колагенових пучків між собою. Елементи структури колагену зв'язані між собою ковалентними і водневими зв'язками, а також зв'язками, утвореними іонною та гідрофобною взаємодією [2].

У технології виробництва шкіри колагенова структура, яка містить велику кількість активних груп різної природи, піддається хімічній, фізичній і механічній трансформації. В основі процесів виробництва натуральної шкіри лежить дія різноманітних хімічних реагентів на білкову складову, яка призводить до розділення або структурування колагенової структури (дерми).

Найефективнішого розділення білкова структура зазнає під час проведення підготовчих процесів (відмочувально-зольних). Під дією лужних матеріалів, таких як гідроксид кальцію, сульфід і гідросульфід натрію, відбувається переважно поздовжнє розщеплення білкової структури з розривом

різних видів міжмолекулярних зв'язків. У результаті обробки сировина (шкура) перетворюється в голину. Лужні реагенти впливають одночасно на всі протеїни дерми: фібрилярні (колаген, кератин, еластин, ретикулін); глобулярні (альбуміни, глобуліни); протеїди; глікопротеїди або мукоїди, фосфопро-теїди, ліпопротеїди, хромопротеїди [1]. Відбувається очищення колагенової волокнистої структури й практично повне видалення епідермальних і кератинових протеїнів. При цьому такі складові шкіри як ліпіди, еластин і ретикулін більше видозмінюються, ніж видаляються зі шкіри [3; 4].

Після проведення підготовчих процесів колагенова структура стає більш доступною для різних хімічних матеріалів. Але при переробці сировини великої рогатої худоби з'являються труднощі, пов'язані з наявністю у воротковій частині шкіри молодих і дорослих биків складок різної глибини. Причому з віком тварини ці складки стають грубішими. Наявність складок на шкурах великої рогатої худоби характеризує дефект борушистості (воротистість), який на сьогодні є не виправним. Є теорія [2; 4], що причина появи борушистості — «дозрівання» колагену. Ефект проявляється в утворенні додаткових міцних поперечних зв'язків і мембран, що ізолюють один від одного структурні елементи колагенової структури. Диспергування колагену при цьому зменшується, а певна кількість амінокислотних залишків у поліпептидних ланцюгах видозмінюється. Для сировини великої рогатої худоби описаний ефект спостерігається у переході дефекту «молочних смуг» на шкурах телят у грубі складки на шкурах дорослих некастрованих биків. Вважають [5], що такі складки утворені глікопротеїном — мікрофібрилярним білком, який містить багато вуглеводів. Видалення глікопротеїнів відбувається у підготовчих процесах з руйнуванням хімічних і фізичних зв'язків у структурі білка. Процес зоління проводять за таких умов, щоб досягти необхідного ступеня розволокнення структури колагену дерми без розриву зв'язків у головних поліпептидних ланцюгах протеїну. Під час проведення підготовчих процесів протеїни дерми зазнають суттєвого впливу лужних реагентів, змінюючи свої властивості.

Різка зміна рівня рН в бік його підвищення спричинює дисоціацію карбоксильних і основних груп амінокислотних залишків, відщеплення аміаку від амідів аспарагінової та глютамінової кислот, розрив електровалентних і водневих зв'язків, руйнування поперечних міжмолекулярних і внутрішньо-молекулярних зв'язків, розрив зв'язків у головних ланцюгах з утворенням вільних аміно- та карбоксильних груп, посилене набухання колагену (структура переходить у стан бубняви), ослаблення міжмолекулярних зв'язків у головних ланцюгах, відщеплення гуанідинової групи аргініну [1; 6]. Однак застосування наявних технологій не дає змоги розволокнити структуру дерми до стадії зникнення борушистості з поверхні шкур. Окрім того, виникають ускладнення при видаленні сполук кальцію, застосованого для зоління, зі структури дерми. Саме тому доцільно розробити таку технологію відмочувально-зольних процесів, яка б забезпечила, з одного боку, максимальне збереження властивостей структури дерми, а з іншого — зменшення прояву борушистості. Для реалізації такої мети необхідно звернути увагу на особливості проведення відмочувально-зольних процесів з урахуванням сучасних

уявлень про будову колагену дерми. Найперспективнішим на сьогодні є застосування у зольних процесах виробництва шкіри окислювальних систем.

Метою статті є дослідження можливості трансформації колагену дерми шкур тварин гідроксил- та карбоксилвмісними сполуками.

Матеріали і методи дослідження. Аналітичні дослідження проводили на зразках напівфабрикату голини, отриманого з сировини бичини масою 35 кг. Для отримання зразків голини у відмочувально-зольних процесах використали комплекс хімічних матеріалів, що включає триетаноламін (ТЕА-ТУ У 6-00205601.068-2000), суміш дикарбонових кислот (СДК-ТУ У 24.1-05607824-045:2007) — мурашиної, щавлевої, винної та пероксид водню (ГОСТ 177-88). Для оцінки ефективності трансформації біополімеру гідроксил- та карбоксилвмісними продуктами використали виплавлені системи цього біополімеру. Поверхневий натяг систем визначили сталагмометричним методом шляхом підрахунку крапель [6]. Молекулярно-масовий розподіл у системах виплавленого білка визначили турбидиметричним титруванням розчину осаджувачем (етиловим спиртом) з реєстрацією помутніння, яке фіксував фотоколориметр-нефелометр [7]. Визначення формолового числа за методом Серенсена [8] дало змогу обрахувати кількість аміногруп, що утворились під час гідролізу білків у дослідженні. Заряд (дзета-потенціал) зразків голини визначено індикаторним методом [2].

Викладення основних результатів дослідження. Підготовчі процеси для зразків проведено за температури 26°C в дві стадії (табл. 1) з використанням комплексу хімічних матеріалів. ТЕА і СДК взяті для дослідження в співвідношеннях 1:1, 1:2, 1:3 або 2:1, 3:1 відповідно. Для дослідних варіантів також варіювалась витрата комплексу хімічних матеріалів на окремих стадіях проведення процесів: максимальна витрата на першій стадії; максимальна витрата на другій стадії; рівні витрати на обох стадіях. Загальна тривалість процесів склала 12 годин.

Таблиця 1. Характеристика підготовчих процесів при переробці крупної сировини великої рогатої худоби

Процес	Витрата матеріалів, % від маси сировини	Порядок виконання
Відмочування	Поверхнево-активна речовина — 0,2 Гідроксид кальцію — 0,3 Сульфід натрію — 0,15	Процес проводиться за постійного обертання. Лужні реагенти вводяться у робочий розчин у розчиненому вигляді
Зоління	<i>1 стадія:</i> Пероксид водню — 0,1—0,4 Комплекс хімічних матеріалів — 0,15—0,60 Карбонат натрію — 1,7	У відпрацьовану відмочувальну рідину додається пероксид водню, а через 1 год вводиться комплекс хімічних матеріалів і розчин карбонату натрію
	<i>2 стадія:</i> Гідроксид кальцію — 2,0 Сульфід натрію — 2,0 Пероксид водню — 0,1—0,4 Комплекс хімічних матеріалів — 0,15—0,60	Через 5 годин від початку процесу перевіряється рівень рН (~10), додається суспензія гідроксиду кальцію, а через 10 хвилин — розчин сульфиду натрію, пероксид водню та комплекс хімічних матеріалів.

Повну прозороленість отриманих зразків підтверджено визначенням характеристик для голини аналітичних показників (ферментативно-термічна стійкість, температура зварювання) та проведеною органолептичною (стан бубняви) оцінкою [6].

Подальші дослідження проведені для білка, виплавленого з отриманих зразків. Виплавлення протягом 2 год за температури 70°C проведено при співвідношенні маси голини та води 1:5 відповідно.

При проведенні турбидиметричного титрування білкових систем за порогом осаджуваності визначено середньозважену молекулярну масу білка в дослідних системах. Виявлено, що із збільшенням кількості гідроксильних і карбоксильних груп, введених при обробці на першій стадії підготовчих процесів, підвищується і ступінь виплавлення білка. Найменший рівень молекулярної маси (10,2 г) мали білкові фракції, отримані із систем, для яких на початковій стадії виконувалась обробка максимальною кількістю реагентів. Формолове число при цьому складає 0,22. Найбільшого рівня маси (21,6 г) досягнуто в зразках, для яких на стадії обробки використали максимальну кількість пероксиду водню (0,4%), яка призвела до агрегації білка, зменшуючи таким чином його виплавлення. Формолове число при цьому складає 0,45. Виявлено також, що із збільшенням маси білкової складової, збільшується і поверхневий натяг всієї системи.

При проведенні досліджень виявлено, що із співвідношенням триетаноламіну та суміші кислот на першій стадії 3:1, на другій стадії 1:2 відповідно, досягнуто найбільш суттєвого впливу на білок. Загальні витрати матеріалів при цьому на першій стадії складають 0,6%, а на другій — 0,45% маси сировини. Триетаноламін, що несе позитивний заряд, може екранувати від'ємно заряджені групи білка (переважно карбоксильні); карбоксильні групи дикарбонових кислот, навпаки, екранують позитивно заряджені групи білка (аміно та пептидні). Введення у систему високореакційної низькомолекулярної складової пероксиду водню дало змогу не тільки екранувати від'ємно заряджені групи, але й зруйнувати частину водневих зв'язків, які утримують спіраль колагену в скрученому стані. Вочевидь частина впорядкованої зони структури колагену при дії комплексу матеріалів руйнується, рухомість системи в цілому та її окремих складових зросла, що і призвело до додаткового розволокнення.

Одночасне використання в підготовчих процесах виробництва шкіри триетаноламіну та дикарбонових кислот буде спричиняти утворення алкоголятів з лужними металами, і водночас сприятиме солеутворенню між протонуваним азотом і карбоновою кислотою. При дисоціації продукти першої реакції утворюють перенасичені концентрації лужних і лужноземельних металів в одній точці. Молекули алкоголятів взаємодіятимуть лише на поверхні волокон, тобто там, де є потовщені складки, які й утворюють борушистість. Структурна ж цілісність всієї дерми при цьому збережеться. Доведено [2], що основна модифікація структури колагену дерми відбувається при виконанні процесу зоління і залежить від додаткової надлишкової кількості іонів з від'ємним зарядом, введених у систему. Визначення [2] дзета-потенціалу,

тобто заряду, що утворився внаслідок дисоціації рухомих низькомолекулярних іонів, підтвердило наявність від'ємного знаку заряду всіх дослідних систем. Рівень показника коливається в межах від -8 до -13 . Зрозуміло, що від'ємність заряду забезпечує введення в білкову систему великого числа карбоксильних і гідроксильних груп.

Висновки

Суттєвої трансформації білкової складової дерми можна досягти її обробкою різними гідроксил- та карбоксилвмісними сполуками. Трансформація проявляється у збільшенні рухливості білкової системи, з одночасним екрануванням позитивно і від'ємно заряджених активних груп білка дерми при проведенні процесу зоління, в руйнуванні частини водневих зв'язків структури білка, у введенні в структуру білка надлишкового від'ємного заряду. Все перелічене сприятиме додатковому розволокненню дерми в підготовчих процесах і зменшенню прояву борущистості на шкурах великої рогатої худоби.

Література

1. Андреева О.А. Поліфункціональна природа колагену як основа одержання та застосування сполук багатоцільового призначення для обробки шкір. *Вісник КНУТД*. 2005. № 3(23). С. 90—97.
2. Горбачов А.А., Кернер С.М., Андреева О.А., Орлова О.Д. Основи створення сучасних технологій виробництва шкіри та хутра: монографія. Київ: Наукова думка, 2007. 190 с.
3. Ліщук В.І., Журавський В.А., Олійник М.М. Регулювання властивостей голини. *Легка промисловість*. 1989. № 4. С. 26—27.
4. Михайлов А.Н. Коллаген кожного покрова и основы его переработки. Москва: *Легкая индустрия*, 1971. 528 с.
5. Соколов В.Е., Петрищев Б.И. Кожный покров домашних млекопитающих (копытных). Москва: Легк. индустрия, 1997. 272 с.
6. Данилкович А.Г., Чурсин В.И. Аналитический контроль в производстве кожи и меха. Лабораторный практикум: учебное пособие. Москва: МГУДТ, 2014. 170 с.
7. Біофізична та колоїдна хімія / А.С.Мороз, Л.П. Яворська, Д.Д.Луцевич та ін. Вінниця: Нова книга, 2007. 600 с.
8. Кучеренко М.Є., Бабенюк Ю.Д., Войцицький В.М., Гавриле В.І. Біохімія: практикум Київ: Либідь, 1995. 152 с.
9. Інноваційні технології виробництва шкіряних і хутрових матеріалів та виробів: монографія / А.Г. Данилкович, І.М. Грищенко, В.І. Ліщук, В.П. Плавач, Е.Є. Касьян та ін.; за ред. А.Г. Данилковича. Київ: Фенікс, 2012. 344 с.

REGULATION OF THE AMMONIA NITROGEN CONCENTRATION AT THE METHANE FERMENTATION OF CHICKEN MANURE UNDER CONDITIONS OF THE LIQUID PHASE RECIRCULATION

Ye. Shapovalov, S. Zhadan, A. Salyuk, A. Kotinskiy

National University of Food Technologies

Key words:

*Methane fermentation
Chicken manure
Ammonia nitrogen
Modeling
Recirculation
Liquid phase*

Article history:

Received 09.11.2018
Received in revised form
23.11.2018
Accepted 21.12.2018

Corresponding author:

Ye. Shapovalov
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

In the article an estimation of efficiency of a new method of regulation of ammonia nitrogen concentration during methane fermentation of chicken manure under conditions of liquid phase recirculation is presented. The essence of the method is the absorption of ammonia from the gas phase by non-volatile sorbent, which is located directly in the reactor, but not in contact with the substrate. The modeling of ammonium nitrogen concentration during the production of biogas from chicken manure in semi-continuous mode without ammonia removal and with ammonia removal was carried out. The results obtained in the research of removal of ammonium nitrogen from solutions of ammonium salt, which simulate a substrate with a high concentration of the inhibitor, in the periodic mode were used. Phosphoric acid was used as a sorbent, because it is able to react with ammonia, it is non-volatile, as a result of the reaction, a product that is useful for agriculture is formed. It is accepted that the process is carried out in the thermophilic mode at the temperature of 50°C, the substrate moisture content of 90%, and the hydraulic retention time of 5 and 10 days. The concentration of phosphoric acid was 4 mol/dm³. The pH of the medium is assumed to be 7.5, 8.0 and 8.5. The ratio of the area of the sorbent and the substrate was 1:4.6, and the diameter of the apparatus and the depth of the substrate — 1:1.5. The maximum degree of the effluent recirculation of 60%, which was used in the modeling, corresponding of full replacement of water, that used to dilute the native chicken manure with moisture content of 75% to moisture content of 90%. Ammonia nitrogen content during liquid phase recirculation under certain conditions was lower than 3000 mg/dm³, which was taken as a safe level for biogas plant operation. The degree of removal of ammonia nitrogen can be significantly increased by changing the geometric dimensions of the biogas reactor, increasing the contact area of the sorbent with the gas phase and increasing the hydraulic retention time. According to the modeling results, the considered method is sufficiently effective for use in the conditions of liquid phase recirculation.

РЕГУЛЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЇ АМОНІЙНОГО АЗОТУ ПРИ МЕТАНОВІЙ ФЕРМЕНТАЦІЇ КУРЯЧОГО ПОСЛІДУ В УМОВАХ РЕЦИРКУЛЯЦІЇ РІДКОЇ ФАЗИ

Є.Б. Шаповалов, С.О. Жадан, А.І. Салюк, А.В. Котинський

Національний університет харчових технологій

У статті наведено оцінку ефективності нового методу регулювання концентрації інгібітора під час метанової ферментації курячого посліду в умовах рециркуляції рідкої фази. Суть методу полягає у сорбції аміаку з газової фази нелетким сорбентом, який знаходиться безпосередньо в реакторі, але не контактує із субстратом. Проведено моделювання концентрації амонійного азоту під час виробництва біогазу з курячого посліду у напівбезперервному режимі без вилучення аміаку та з вилученням. При цьому використано результати, отримані при дослідженні видалення амонійного азоту з розчинів солі амонію, що моделюють субстрат з високою концентрацією інгібітора, у періодичному режимі. Як сорбент була застосована фосфорна кислота, оскільки вона здатна реагувати з аміаком, є нелеткою, у результаті реакції утворюється корисний для сільського господарства продукт. Прийнято, що процес проводиться у термофільному режимі при температурі 50°C, вологості субстрату 90% і гідравлічному часі утримання 5 та 10 діб. Концентрація фосфорної кислоти становить 4 моль/дм³. Значення рН середовища прийнято рівним 7,5, 8,0 і 8,5. Співвідношення площі сорбенту і субстрату становить 1:4,6, а діаметра апарата до глибини субстрату — 1:1,5. Максимальний ступінь рециркуляції стоку 60%, який було використано при моделюванні, відповідає повному заміщенню води, що використовується для розбавлення курячого посліду нативної вологості 75% до вологості 90%. Вміст амонійного азоту при рециркуляції рідкої фази за певних умов був нижчим ніж 3000 мг/дм³, що було прийнято за безпечний для роботи біогазової установки рівень. Ступінь вилучення амонійного азоту може бути суттєво збільшено за рахунок зміни геометричних розмірів біогазової установки, збільшення площі контакту сорбенту з газовою фазою та гідравлічного часу утримання. Відповідно до результатів моделювання, розглянутий метод є достатньо ефективним для його використання в умовах рециркуляції рідкої фази.

Ключові слова: метанова ферментація, курячий послід, амонійний азот, моделювання, рециркуляція, рідка фаза.

Постановка проблеми. Рециркуляція рідкої фази під час метанової ферментації курячого посліду дає можливість уникнути проблеми утилізації великої кількості стоків, однак її використання лімітується накопиченням інгібіторів у біогазовому реакторі, головним чином, амонійного азоту [7; 8; 10].

У статті запропоновано новий підхід до видалення амонійного азоту з рідкої фази шляхом сорбції аміаку з газової фази нелетким сорбентом, який

знаходиться безпосередньо в реакторі, але не контактує з субстратом [5]. Можливість його використання було показано як на розчинах, що моделюють субстрат з високою концентрацією інгібітора, так і при безпосередньо метановій ферментації курячого посліду в напівбезперервному режимі [2]. Як сорбент обрано фосфорну кислоту, оскільки вона здатна реагувати з аміаком, є нелеткою, у результаті реакції утворюється корисний для сільського господарства продукт [4]. Отриманий ефлюент мав пониженою концентрацією амонійного азоту, що створює умови для рециркуляції рідкої фази.

Мета дослідження: оцінити ефективність запропонованого методу регулювання концентрації амонійного азоту в біогазовому реакторі в умовах рециркуляції рідкої фази.

Матеріали і методи. Для досягнення поставленої мети, результати, отримані при дослідженні вилучення амонійного азоту з розчинів солі амонію у періодичному режимі [2], були використані для моделювання його вмісту у біогазовому реакторі в умовах рециркуляції рідкої фази.

Зниження концентрації амонійного азоту в розчині об'ємом 0,25 дм³ при початковій концентрації 8000 мг/дм³ в результаті сорбції аміаку з газової фази ортофосфорної кислотою з концентрацією 4 моль/дм³ при температурі 50°C апроксимовано функцією:

$$y = a \cdot e^{-b \cdot x},$$

де a і b параметри, значення яких залежно від рН розчину наведено у таблиці.

Таблиця. Значення параметрів функції, що апроксимує зниження концентрації амонійного азоту в розчині

рН	a	b	R^2	σ
7,5	8036,6789202	0,0030988	0,9531770	239,8978764
8,0	8064,7175745	0,0078838	0,9740226	259,9980683
8,5	8189,8241458	0,0186242	0,9785655	208,0494536

Для спрощення моделювання концентрації амонійного азоту при метановій ферментації в умовах рециркуляції рідкої фази прийнято, що процес здійснюється у напівбезперервному режимі.

Концентрацію амонійного азоту в реакторі на певний момент часу після початку рециркуляції ефлюенту визначали за формулою:

$$C_{n+2} = \frac{m_{n+1}}{V} - \frac{m_{n+1}}{V \cdot HRT} + N + \frac{m_n \cdot R}{100 \cdot V \cdot HRT}$$

або у спрощеному вигляді:

$$C_{n+2} = C_{n+1} - \frac{C_{n+1}}{HRT} + N + \frac{C_n \cdot R}{100 \cdot HRT},$$

де C — концентрація амонійного азоту в біогазовому реакторі, мг/дм³; m — маса амонійного азоту в біогазовому реакторі, мг; n — номер доби від початку рециркуляції; V — корисний об'єм біогазового реактора, дм³; HRT — гідравлічний час утримання, діб; R — ступінь рециркуляції, %; N — маса амонійного азоту, що поступає в біогазовий реактор з курячим послідом, мг.

Концентрацію амонійного азоту в реакторі, у якому проходить сорбція аміаку з газової фази, на певний момент часу після початку рециркуляції ефлюенту визначали за формулою:

$$C_{n+2} = C_{n+1} - \frac{C_{n+1}}{HRT} + N + \frac{C_n \cdot R}{100 \cdot HRT} - s(C_n, C_{n+1}, HRT, N, R, a, b),$$

де s — маса амонійного азоту, що видаляється з рідкої фази за рахунок сорбції аміаку з газової фази протягом доби, мг; a та b — значення параметрів функції, що апроксимує зниження концентрації амонійного азоту в розчині у періодичному режимі.

Значення s визначається за формулою:

$$s = \frac{C_{n+1} - \frac{C_{n+1}}{HRT} + N + \frac{C_n \cdot R}{100 \cdot HRT} - a \cdot e^{-b \left(\frac{\ln \left(\frac{C_{n+1} - \frac{C_{n+1}}{HRT} + N + \frac{C_n \cdot R}{100 \cdot HRT}}{a} \right)}{b} + 24 \right)}}{4},$$

де 4 — коефіцієнт, що враховує приведення вилучення амонійного азоту до одиниці об'єму.

Наведені вище формули враховують порядок дій при обслуговуванні біогазової установки:

- ефлюент у кількості V/HRT зливається з апарата;
- курячий послід розбавляється водою та ефлюентом у кількості $VR/(100HRT)$;
- отриманий субстрат подається в біогазовий реактор.

Прийнято, що процес проводиться у термофільному режимі при температурі 50°C, вологості субстрату 90% і гідравлічному часі утримання 5 та 10 діб. Концентрація фосфорної кислоти становить 4 моль/дм³. Значення рН середовища прийнято рівним 7,5, 8,0 і 8,5. Співвідношення площі сорбенту і субстрату становить 1:4,6, а діаметра апарата до глибини субстрату — 1:1,5. Концентрацію амонійного азоту в біогазовому реакторі без вилучення амонійного азоту прийнято рівною 3000 мг/дм³ [2].

Математичне моделювання виконано з використанням системи комп'ютерної алгебри Mathcad 15.

Результати і обговорення. Результати моделювання вмісту амонійного азоту в біогазовому реакторі на певний момент часу після початку рециркуляції ефлюенту наведено на рис. 1.

Максимальний ступінь рециркуляції стоку 60%, відображений на графіках, відповідає повному заміщенню води, що використовується для розбавлення курячого посліду нативної вологості 75% до вологості 90%.

У результаті аналізу отриманих графіків відзначено такі закономірності: більший ступінь рециркуляції обумовлює більшу концентрацію амонійного азоту в реакторі; швидкість збільшення концентрації амонійного азоту від початку рециркуляції непостійна і з часом зменшується; чим більший час гідравлічного утримання та вищий ступінь рециркуляції, тим більше часу потрібно для досягнення максимальної концентрації амонійного азоту.

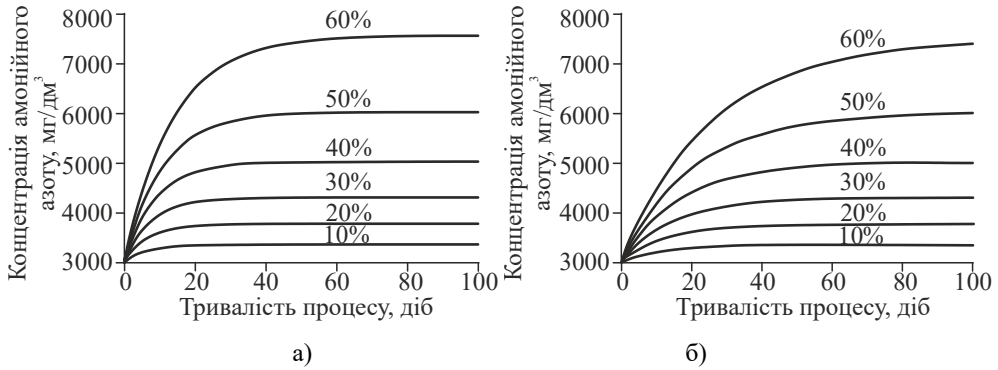


Рис. 1. Концентрація амонійного азоту в реакторі з HRT 5 діб
а) та HRT 10 діб б) після початку рециркуляції ефлюенту за різного ступеня

Результати моделювання вмісту амонійного азоту в біогазовому реакторі, у якому проходить сорбція аміаку з газової фази, на певний момент часу після початку рециркуляції ефлюенту наведено на рис. 2, 3 та 4.

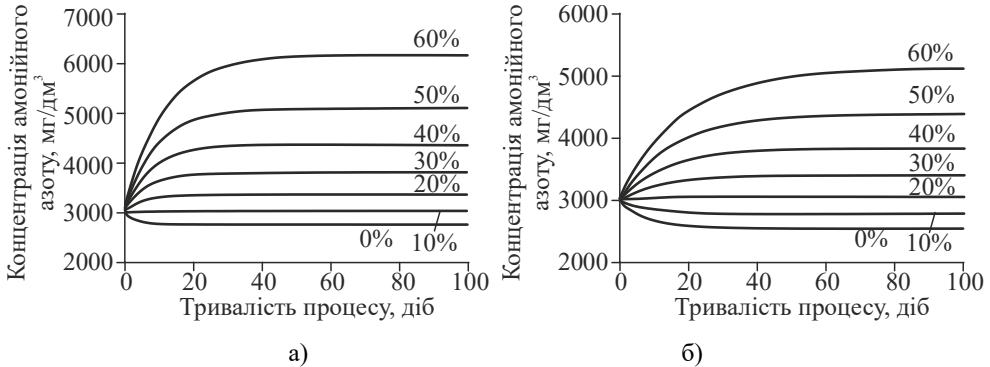


Рис. 2. Концентрація амонійного азоту в реакторі з HRT 5 діб
а) та HRT 10 діб б), у якому проходить сорбція аміаку з газової фази
при pH рідкої фази 7,5, після початку рециркуляції ефлюенту за різного ступеня

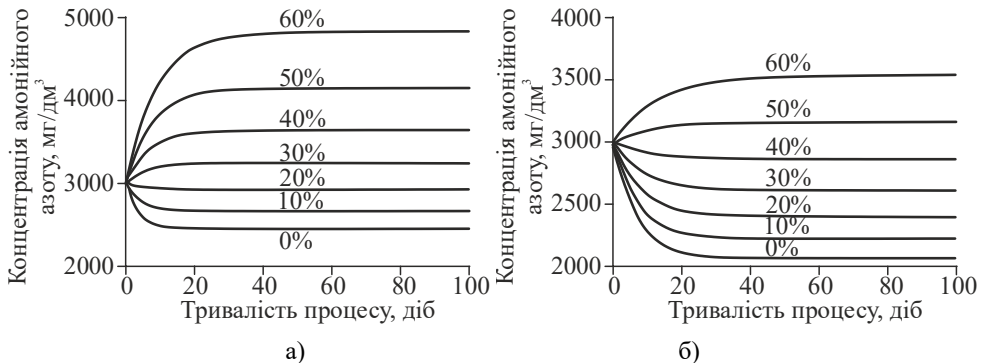


Рис. 3. Концентрація амонійного азоту в реакторі з HRT 5 діб
а) та HRT 10 діб б), у якому проходить сорбція аміаку з газової фази
при pH рідкої фази 8,0, після початку рециркуляції ефлюенту за різного ступеня

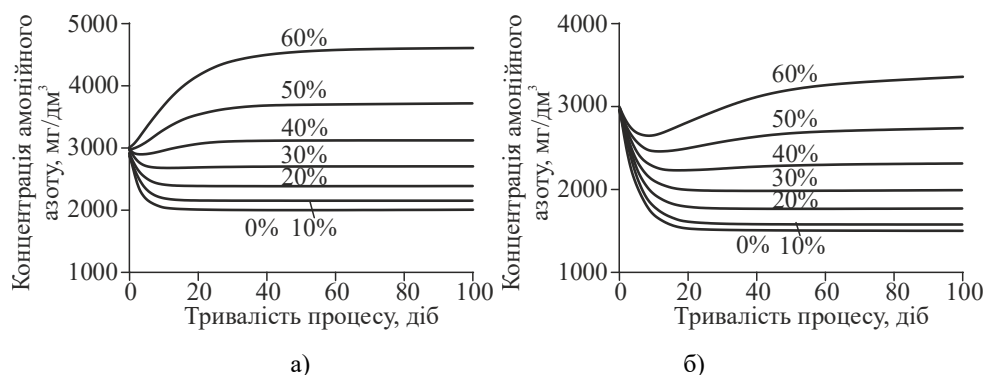


Рис. 4. Концентрація амонійного азоту в реакторі з HRT 5 діб
а) та HRT 10 діб б), у якому проходить сорбція аміаку з газової фази
при рН рідкої фази 8,5, після початку рециркуляції ефлюенту за різного ступеня

При гідравлічному часі утримання 10 діб концентрація амонійного азоту була меншою, ніж при гідравлічному часі утримання 5 діб. Це обумовлено тим, що субстрат знаходиться у реакторі довше, відповідно, і сорбція аміаку триває більше часу.

При підвищенні рН рідкої фази з 7,5 до 8,5 концентрація амонійного азоту у реакторі зменшувалась. Це обумовлено тим, що при вищому значенні рН швидкість вилучення амонійного азоту є вищою.

Початкове зниження концентрації амонійного азоту в апараті з подальшим його збільшенням на деяких графіках пояснюється моделюванням процесу у напівбезперервному режимі.

За результатами моделювання, використання сорбції аміаку з газової фази матиме значний вплив на концентрацію амонійного азоту в біогазовому реакторі під час метанової ферментації курячого посліду.

Маккарті показав, що при концентрації амонійного азоту, яка перевищує 3000 мг N-NH_4^+ /дм³, процес анаеробної ферментації є інгібованим при будь-якому значенні рН [9].

Запропонований метод регулювання вмісту амонійного азоту, в ряді випадків, дає змогу тримати його концентрацію нижчою від наведеного значення навіть у умовах рециркуляції рідкої фази.

Ступінь вилучення амонійного азоту може бути суттєво збільшено за рахунок зміни геометричних розмірів біогазової установки, збільшення площі контакту сорбенту з газовою фазою та гідравлічного часу утримання.

Так, зменшення висоти субстрату в біогазовому реакторі вдвічі при збереженні площі контакту рідкої фази з газовою призведе до збільшення швидкості вилучення амонійного азоту у відповідну кількість разів.

У дослідженні з вилучення амонійного азоту з розчинів солей амонію, що моделюють субстрат з високою концентрацією інгібітора, підвищення концентрації розчину фосфорної кислоти з 4 моль/дм³ до 6 моль/дм³ призводило до збільшення швидкості вилучення амонійного азоту з рідкої фази [2], що свідчить про відсутність лімітування процесу переходом аміаку з рідкої фази в газову. Виходячи з цього, при концентрації кислоти 4 моль/дм³ швидкість

вилучення амонійного азоту можна підвищити шляхом збільшення площі поверхні сорбенту.

Слід відзначити, що використання розчину кислоти з більшою концентрацією є недоцільним через гігроскопічність кислоти [2; 4].

Гідравлічний час утримання в термофільному режимі приймається рівним 5—10 діб [1]. Такий діапазон використовувався під час моделювання концентрації амонійного азоту в біогазовому реакторі. Використання збільшеного часу гідравлічного утримання буде відповідати європейській практиці. Так, згідно з даними Едер і Шульца, гідравлічний час утримання в термофільному режимі приймається рівним 15—25 діб [6].

Конкретне значення часу гідравлічного утримання при метановій ферментації курячого посліду, що відповідає певному критерію оптимізації виробництва біогазу, наведено в [3].

Проведене моделювання має такі недоліки: рівень рН приймається постійним; ступінь амоніфікації приймається однаковим незалежно від гідравлічного часу утримання.

У реальних умовах зменшення вмісту амонійного азоту супроводжується зниженням значення рН. Однак таке зниження під час метанової ферментації курячого посліду за рахунок буферної ємності системи не є значним.

Гідравлічний час утримання впливає на ступінь деструкції органічних речовин, у тому числі тих, що є джерелом утворення амонійного азоту. Однак при метановій ферментації курячого посліду основна його частина виділяється достатньо швидко. Джерелами утворення амонійного азоту є сечова кислота і неперетравлені білки. Вони представляють 70% і 30% загального азоту, відповідно [11]. Лейсі і співавтори повідомили про повну утилізацію сечової кислоти після перших 24 год при анаеробній переробці курячого посліду, розбавленого до вологості 95% [12].

Висновки

Відповідно до результатів моделювання новий метод регулювання концентрації амонійного азоту, який полягає у сорбції аміаку з газової фази нелетким сорбентом, що знаходиться безпосередньо в реакторі, але не контактує з субстратом, є достатньо ефективним для його використання під час метанової ферментації курячого посліду в умовах рециркуляції рідкої фази.

Література

1. Біогазовые технологии в Кыргызской Республике: справочное руководство / [А.Г. Веденев, Т.А. Веденева, ОФ «Флюид»]. Бишкек: Евро, 2006. 90 с.
2. Салюк А.И., Жадан С.А., Шаповалов Е.Б., Тарасенко Р.А. Метановая ферментация куриного помета при пониженной концентрации ингибиторов. *International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology (ISJAE)*. 2017. № 4. С. 89—98.
3. Салюк А.И., Котинский А.В., Жадан С.О., Шаповалов Е.Б. Режимы метановой ферментации курячего посліду. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2017. Т. 23(2). С. 31—36.
4. Спосіб одержання твердого мінерального добрива при метановій ферментації: пат. 114655 Україна: МПК (2017.01) C05F 3/00. № 201610452; заявл. 17.10.2016; опубл. 10.03.2017; Бюл. №5. 3 с.

5. Спосіб отримання біогазу та добрива з відходів з високим вмістом азоту: пат. 105080 Україна: МПК (2016.01) C05F 3/00. № 201505811; заявл. 12.06.2015; опубл. 10.03.2016. Бюл. № 5. 1 с.
6. Эдер Б., Шульц Х. Биогазовые установки: практическое пособие. Zorg Biogas, 1996. URL: http://zorgbiogas.ru/upload/pdf/Biogas_plants_Practics.pdf (дата обращения: 09.11.2017).
7. Belostotskiy D., Jacobi H., Strach K., Liebetrau J. Anaerobic digestion of chicken manure as a single substrate by control of ammonia concentration. URL: <http://www.redbiogas.cl/wp-content/uploads/2013/07/IWA-11342.pdf> (Last accessed: 09.11.2017).
8. Integrated Approach to Sustain Biogas Production in Anaerobic Digestion of Chicken Manure under Recycled Utilization of Liquid Digestate: Dynamics of Ammonium Accumulation and Mitigation Control / S. Wu, P. Ni, J. Li, et. al. *Bioresource Technology*. 2016. № 205. P. 75—81.
9. McCarty P.L. Anaerobic waste treatment fundamentals III. *Public Works*. 1964. № 95. P. 91.
10. Mono-fermentation of chicken manure: Ammonia inhibition and recirculation of the digestate / H. Nie, H. Jacobi, K. Strach, et. al. *Bioresource Technology*. 2015. № 178. P. 238—246.
11. Nakashimada Y., Abouelenien F., Nishio N. Novel uric acid degrading bacteria isolated from dry methanogenic sludge of chicken manure. HU-AIST Biomass seminar, January 13, 2013. URL: <https://unit.aist.go.jp/chugoku/even/BiomassOpenSeminar/No16/report1.pdf> (Last accessed: 20.08.2015).
12. Nutrient changes in poultry manure during batch liquid phase anaerobic fermentation / R.E. Lacey, I.J. Ross, J.L. Taraba, L.R. Walton. *Livestock Waste: A Renewable Resource* (Fourth International Symposium on Livestock Wastes, Amarillo Civic Center, Amarillo, Texas, 1980). Amarillo: ASAE Publication. 1981. P. 31—33.

УДК: 631.1

UKRAINE: A LAND OF ECONOMIC PROBLEMS OR OPPORTUNITIES

K. Omelchenko, O. Solomka

National University of Food Technologies

Key words:

*Ukraine's economy
Economic indicators
Growth
Gross Domestic Product
Investment
Agriculture
Opportunity*

Article history:

Received 15.11.2018
Received in revised form
06.12.2018
Accepted 21.12.2018

Corresponding author:

K. Omelchenko
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The article deals with the main economic advantages of the country and its additional opportunities on the path to economic stability and development. The proposed analysis of the main macroeconomic indicators, namely: gross domestic product, unemployment rate, interest rate analysis, production, imports and exports, consumption, etc., in order to identify additional opportunities and certain problem areas. According to the analysis, it can be noted that at present the country is in an unstable state. According to the analysis, certain indicators deteriorate from 2013 to 2017 inclusive. Particularly negative factor here can be considered a constant decline in population and worsening economic performance. On the basis of the study, the forecast of some indicators for 2019 is proposed quarterly and by 2020 inclusive, which shows that the economic situation in the country will gradually stabilize.

Particularly, improvements will be made in the area of production and consumption by increasing wages, subject to the sustainability of tax payments and fees. It is also worth noting that, according to the forecast, inflation will somewhat decrease and in 2020 will amount to 5.2%. Also, the amount of public debt will decrease somewhat.

The purpose of the article is to identify economic opportunities of the country with the goal of their optimization and use in the future to achieve economic growth. The main object of the research is the state and its separate units. According to the results of the conducted research, it is possible to optimize the use of certain resources of Ukraine in order to achieve its economic stability and development, for example, use of solar energy, reform of the agro-industrial complex, improvement of the investment climate of the country and the legislative framework in this direction, use of developed infrastructure of the country, etc.

УКРАЇНА: КРАЇНА ЕКОНОМІЧНИХ ПРОБЛЕМ ЧИ МОЖЛИВОСТЕЙ

К.Ю. Омельченко, О.М. Соломка

Національний університет харчових технологій

У статті розглянуто основні економічні переваги країни та її додаткові можливості на шляху до економічної стабільності та розвитку. Запропоновано аналіз основних макроекономічних показників, а саме: валового внутрішнього продукту, рівня безробіття, аналіз відсоткової ставки, виробництва продукції, імпорту та експорту, споживання тощо з метою виявлення додаткових можливостей і певних проблемних місць. Згідно з аналізом можна відмітити, що на сьогодні країна знаходиться у нестабільному стані. Деякі показники погіршуються, починаючи з 2013 року і до 2017 року включно. Особливо негативним фактором можна вважати постійне зниження кількості населення та погіршення економічних показників.

На основі дослідження запропоновано прогноз деяких показників для 2019 року поквартально і до 2020 року включно, з якого видно, що економічна ситуація в країні поступово буде стабілізуватися. Особливо покращення відбудеться у сфері виробництва та споживання за рахунок збільшення заробітної плати за умови сталості податкових платежів і зборів. Також варто відмітити, що за результатами прогнозу інфляція децю зменшиться і у 2020 році становитиме 5,2%. Також децю скоротиться сума державного боргу.

Метою статті є виявлення економічних можливостей країни, що дасть змогу їх оптимізувати та використати в майбутньому для досягнення економічного зростання. Основним об'єктом дослідження статті виступає держава та її окремі підрозділи. За результатами проведених досліджень є можливість оптимізувати використання певних ресурсів України з метою досягнення її економічної стабільності та розвитку, наприклад, використання сонячної енергії, реформування агропромислового комплексу, покращення інвестиційного клімату країни та законодавчої бази в цьому напрямку, використання розвинутої інфраструктури країни тощо.

Ключові слова: економіка України, економічні індикатори, зростання, валовий внутрішній продукт, інвестиції, аграрна промисловість, можливості.

Formulation of the problem. Ukraine is a potentially rich country that realizes itself and is perceived from the outside as a political and economic power similar to other countries. Among the former republics of the USSR, Ukraine inherited one of the best sets of initial resources. Before independence, the economy of the Ukrainian USSR was playing a main role in the economy of the USSR [1].

But while the military aspects of the conflict have dominated the headlines, the real battle for Ukraine's future has always been elsewhere.

It rests on the ability of the country to restore stability and prosperity even as its territorial integrity is being brutally compromised.

In our opinion, above all, it is the economic stability of the country, which is provided not only by various capacities, but also by the ability of political forces to properly manage resources. In other words, it is the ability of a country to withstand economic or other threats based on its potential, reserves, and so on.

Analysis of recent researches and publications. Recently, much attention was paid to the study topic. Results of the study can be found on the Internet, which covered not only political articles on the subject, but the results of the investigations of the scientists.

The purpose of the article is to identify economic opportunities of the country with the goal of their optimization and use in the future to achieve economic growth.

Statement of key research results. So let's initialize the general situation in Ukraine in order to understand what threats and opportunities the country has.

Ukraine's economic freedom score is 51.9, making its economy the 150th freest in the 2018 Index. Its overall score has increased by 3.8 points, reflecting improvements in eight of the 12 economic freedom indicators and particularly significant improvements in monetary freedom and investment freedom. Ukraine is ranked last among 44 countries in the Europe region, and its overall score is below the regional and world averages.

Now let's turn to a more detailed analysis of the economic situation in the country by separate macro indicators.

First of all, we want to admit, that Ukraine's economy grew by 2.5% in 2017, the second year of modest growth, according to the World Bank's. Growth in manufacturing, services, and construction was robust, but weaknesses in the agriculture and mining sectors, together with delays in key reforms to further strengthen investor confidence contributed to the modest overall growth performance [2].

The main economic indicators of the country for 2013—2017 years are shown in Table 1 [3].

Table 1. Ukraine Economy Data

№	Indicator	2013	2014	2015	2016	2017	Absolute deviation 17/16
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Population (ml)	45.2	42.8	42.6	42.4	42.3	−0.1
2	GDP per capita (USD)	3.98	3.06	2.06	2.18	2.68	+0.5
3	Economic Growth (GDP, annual variation in %)	0.0	−6.6	−9.8	2.4	2.5	+0.1
4	Consumption (annual in %)	6.9	−8.3	−20.7	2.1	7.8	+5.7
5	Investment (annual variation in %)	−8.4	−24.0	−9.2	20.4	18.2	−2.2
6	Industrial production (annual variation in %)	−4.3	−10.1	−13.0	2.8	0.4	+2.4
7	Unemployment rate	7.2	9.3	9.1	9.4	9.5	+0.1
8	Fiscal balance (% of GDP)	−4.3	−4.5	−1.6	−2.3	−1.4	+0.1
9	Public debt (% of GDP)	39.9	69.4	79.1	80.9	71.8	−9.1

Continuation of the table 1

1	2	3	4	5	6	7	8
10	Inflation rate (CPI, annual variation in %)	0.5	24.9	43.3	12.4	13.7	+1.3
11	Policy interest rate (%)	6.5	14.0	22.0	14.0	14.5	+0.5
12	Exchange rate (USD)	8.24	15.82	24.03	27.1	28.16	+1.06
13	Current account balance (USD bn)	-16.5	-4.6	1.6	-1.3	-2.1	-0.8
14	Trade balance (USD bn)	-22.1	-7.1	-3.5	-6.8	-9.4	+2.6
15	Exports (USD bn)	59.1	50.6	35.4	33.6	39.7	+6.1
16	Imports (USD bn)	81.2	57.7	38.9	40.4	49.1	+8.7
17	External debt (% of GDP)	79.0	96.4	136	124	103	-21

Looking at the breakdown, domestic demand was in the driver's seat in the second quarter. Government spending growth soared by double digits, swinging from a contraction at the outset of the year and marking the strongest increase since 2015. The second-quarter increase in public spending was primarily driven by the allotment of higher household utility subsidies. Household consumption growth, meanwhile, remained solid and came in at 4.2%, against the backdrop of improving consumer sentiment, higher real wages, growing remittances and an increase in pensions. Lastly, amid a favorable business climate, fixed investment rose a solid 14.2% yoy, led by a marked increase in budget capital expenditure on road and transport infrastructure. Nevertheless, the rate of investment growth decelerated somewhat from the previous quarter.

The Central Bank expects real GDP growth to accelerate to 3.4% this year. Focus Economics panelists see GDP rising 3.2% in 2018 and 3.1% in 2019, which is unchanged from previous month's estimate.

The external sector's contribution to growth deteriorated in the second quarter, with exports of goods and services up 0.1% yoy, compared to a significant 9.9% contraction in the first quarter. The improvement came on the back of higher exports of foods, ores, and ferrous metals, and despite the drop in grain exports due to low yields of early crops. However, imports returned to growth, following the first contraction in two years observed in the previous quarter.

Looking ahead, the next tranche of financing under the USD 17.5 billion deal with the IMF remains up in the air after the Fund's mission in Ukraine that ran from 6 to 19 September 2018 concluded without reaching an agreement. Discussions are reportedly ongoing, with a deal for unlocking financial aid deemed by the Central Bank as critical to the country's macro-financial stability next year, when the election cycle kicks into full swing. Meanwhile, the country signed an EUR 1.0 billion loan agreement for the fourth EU macro-financial assistance program on 14 September 2018, with money destined to replenish Ukraine's international reserves.

Therefore, we considered the economic situation of the country's macro-economic indicators. The situation is not easy, but according to some sources and economists, it is not very bad.

There is reason to be optimistic about Ukraine's economic future. The latest UBJ report cites a new production line from one of Ukraine's biggest food processing companies, 13 new gas wells in the Lviv region and the introduction of

Ryanair flights to and from Ukraine as indicators of the country's improving economic situation.

It must be understood that the occupied areas are only three percent of the national territory. So, it's a very successful propaganda campaign by the Kremlin to tar all of Ukraine with the hostilities in the East, and, we're ignoring the other 97% of the country.

Growth in the foreign investment sector could also be on the horizon. While some foreign businesses may be "standoffish" about investing in Ukraine during an election year, the existing foreign investors in Ukraine are looking to expand [4].

In terms of Ukraine's relationship with western institutions, even Ukraine's Association Agreement with the European Union, which was finally ratified last year, is actually starting to pay off.

It is working slowly, but it will work faster. The European foreign minister came through here and said that probably a lot of the 2.5% growth last year was the locomotive of an increase of 27% in exports to the EU, and that pulled Ukraine forward.

Recently, more and more investors want to cooperate with Ukraine. However, there are a number of complexities.

The obstacle number one is obviously the lack of rule of law, where you can't trust the courts. And the foreign businessmen know that, and Ukrainian businessmen know even better. But, people can work around that to some degree.

The other thing is a little more subtle — it's just the general ignorance about Ukraine. People do not know Ukraine, they haven't been here. If we look at Mexico, which has many problems, 3% of the entire US population went to Mexico last year on vacation. If 3% of Germans came here, that would mean there'd be 2.4 million Germans in Ukraine.

The war is sometimes used as an excuse by the government for not making the reforms happen. At the same time, they are pointing to the war too much and that makes people not want to invest in Ukraine. It's the case that business ignores that fact and does what it likes in other regions.

The State Property Fund has posted on its website that 660 small-scale state companies are to be sold this year. At the same time, we know that the biggest state enterprises, which are probably the most difficult to be privatized, and that's the most difficult for the government to give it to somebody else, because these are the place where we really look at the most corrupt cases. Every single year, the government promises to sell these huge companies, but now we have other situation.

So, what are the trends in Ukrainian economy? Which are the most interesting sectors for somebody who is interested in doing business in Ukraine?

In our point of view, agriculture has tremendous growth ahead of it. Ukraine is going to help feed the world. It is very strong. What they've seen in American and German, and foreign businessmen here say they want to expand. The ones who are in Frankfurt and New York are toe-dipping and are standoffish about coming in, especially in an election year. But a survey of the American Chamber of Commerce, a survey of the German Chamber of Commerce, at least two thirds of the members are expanding, or are spending more money, in Ukraine now. They know

Ukraine, they are here, they know the risks, they know how to operate here. It's the people outside that are, kind of, watching.

Throughout modern history Ukraine has been called the “bread basket of Europe”. Today the country is frequently referred to as being a potential global agricultural superpower. Ukraine comes by this reputation justifiably, as its agricultural output is legendary.

By European standards Ukraine's land resources are enormous. Over 70% of the country's total area is agricultural land. This amounts to just over 42 million hectares of which 32 million is arable land suitable for grain and vegetable farming. In addition, Ukraine possesses a significant amount of rich fertile black soil known as “chornozem” representing 30% of the world's reserves.

These advantages are further leveraged by Ukraine's favorable geographic location which places it in a temperate continental climate zone with adequate access to water and transportation networks. The sector also benefits from the services of a highly skilled and large labor pool where approximately 25% of Ukraine's 44.5 million population is employed in the agricultural sector.

According to the forecast of a certain economic source we can see the forecasts for Ukraine including a long-term outlook for the next decades, plus medium-term expectations for the next four quarters and short-term market predictions for the next release affecting the Ukraine economy (table 2) [5].

Table 2. Ukraine's Economic Forecasts

№	Indicator	Actual	Q4/18	Q1/19	Q2/19	Q3/19	2020
1	Population, ml	42.41	42.02	41.93	41.85	41.76	38.37
2	Wages, UAH/month	8977.0	9000	8000	9166	9163	10000
3	Labor force participation rate, %	62.9	62.6	63.03	63.06	62.8	63.5
4	GDP growth rate, %	1.0	0.4	0.3	0.5	0.4	0.6
5	Unemployment rate, %	8.3	9.4	8.4	8.5	8.7	8.2
6	Inflation rate, %	8.9	8.9	6.5	6.3	6.0	5.2
7	Interest rate, %	18.0	18.0	17.5	17.0	17.0	15.0
8	Trade balance	-847.6	-1130	-480	-400	-931	-830
9	Government debt, % of GDP	71.8	65.0	61.0	61.0	61.0	64.1
10	Industrial production, %	-0.5	2.3	1.8	2.1	1.9	2.2
11	Manufacturing production, %	-0.5	1.12	1.02	1.02	1.02	1.02
12	Competitiveness index, points	57.03	4.11	4.11	4.11	4.11	4.11

Therefore, as can be seen from the above, the population of the country will gradually decrease. However, there are a number of positive changes, namely: we have an increase in GDP, labor force, in manufacturing and industrial production.

We will add some attention to production as one of the sources of certain opportunities of the country. Ukraine has a large manufacturing base which historically was focused on heavy industry. In recent years, this sector has undergone changes and gradually diversified in response to market sector demands. The sector continues to be supported by an extensive network of polytechnic institutes, which annually graduate thousands of engineers across a wide range of disciplines. It's heavy industry — machine building, automotive, aviation, shipbuilding, light industry [6].

Also Ukraine's vast road, rail, air and sea infrastructure, together with the benefits of its geographic location, makes the country an important transit corridor for trade and travel between Europe, Asia and the Middle East. The transportation sector is the most developed and extensively utilized of all infrastructure assets. By European standards the transportation sector is a huge conglomerate which encompasses a diverse aggregate of railway networks, roads, seaports and airport facilities, together with their supporting services.

We want to admit, that Ukraine is taking important strides to increase the use of renewable-energy sources and alternative fuels as part of its broader strategy to reduce its reliance on traditional fossil fuels. It has been estimated that Ukraine has the potential to increase its use of renewable energy ten fold, by the year 2030 and reduce its natural gas consumption by 15% over the same period.

Energy efficiency and energy security are now operative words for companies and countries alike; going forward, renewable and alternative energy issues will only become more important.

The opportunities to invest in Ukraine's alternative energy sector are exceedingly favorable as the country has diverse reserves of raw material and a well educated workforce possessing the technical know-how required to develop and introduce the latest commercial advances in this sector. As a result, interest in Ukraine's renewable energy sector continues to grow and the government estimates that the total investment in alternative energy will reach 18 billion USD by the year 2020.

Conclusions

So, as we have seen Ukraine has quite high potential for strengthening its economic positions. It is very important to understand that it is possible to achieve economic development only under the condition of competent management and allocation of resources of the country.

The existence of military processes in the country should not be a major threat to the economy, since the occupied part is about 3% of the country. Attracting most of the investment should be done through improving the investment climate, as well as the legislative framework of the Ukraine.

References

1. Ukrain's reforms URL: <http://ukrainetrek.com/about-ukraine-economy>.
2. Economic growth of Ukraine URL: <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/-2018/04/10/ukraine-economic-update-spring-2018>.
3. Ukraine Economic Outlook URL: <https://www.focus-economics.com/countries/ukraine>.
4. Ukraine URL: <https://en.hromadske.ua>.
5. Ukraine — Economic Forecasts URL: <https://tradingeconomics.com/ukraine/forecast>.
6. Your Investment Matters URL: <https://ukraineinvest.com/sectors/>.

RESEARCH ON THE IMPACT OF MODIFIED AND CONSTRUCTIVE PARAMETERS IN THE PROCESSING OF VISCOUS AND DISPERSION PRODUCTS IN APPARATUS ON THE ROTATIONAL THERMOSYPHON BASE

O. Burdo, I. Bezbakh, O. Zykov, S. Shishov
Odessa National Academy of Food Technologies

Key words:

*Rotational thermosiphons
Non-Newtonian fluids
Disperse products*

Article history:

Received 06.11.2018
Received in revised form
05.12.2018
Accepted 19.12.2018

Corresponding author:

O. Burdo
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

A fundamentally new method of solving a complex scientific and technical problem is used — reduction of specific energy consumption during drying, thermal treatment of non-Newtonian fluids. Innovative designs of apparatuses for heat treatment, evaporation of non-Newtonian fluids, drying of disperse products are developed. The methodology was substantiated and experimental stands were created for complex studies of the process of evaporation of non-Newtonian fluids, drying of dispersed products in rotational thermosiphons-based machines. In the article the influence of structural and regime parameters on the kinetics of the evaporation process of food non-Newtonian fluids, drying of dispersed products in rotational thermosiphons-based apparatuses was investigated.

The objects of research are as the whole technological chain of production and energy-intensive equipment, as well as products that are processed. The results of research studies carried out on the experimental stands of the Department of Processes of Equipment and Energy Management Odessa National Academy of Food Technologies are presented. Experimental studies confirm that modern methods of effective heat transfer — rotational thermosiphons, as well as devices based on them, can become the technical basis for the improvement of drying, concentration, and heat treatment technologies. Experiments on evaporation are carried out on tomato mass, apple puree in a wide range of parameters. When drying dispersed products, thermograms, drying lines for wheat, amaranth, millet, cooked peas in an installation with rotational thermosiphons were obtained. The influence of regime parameters on the heat transfer coefficients was investigated. It was established that the intensity of the heat-mass transfer is significantly influenced by the speed of the condenser, the angle of its inclination and the physical properties of the product. It was established that the apparatus with rotational thermosiphons provides heat transfer coefficients 4 times higher than in modern apparatuses.

DOI: 10.24263/2225-2924-2018-24-6-12

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕЖИМНИХ І КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИ ОБРОБЦІ В'ЯЗКИХ ТА ДИСПЕРСНИХ ПРОДУКТІВ В АПАРАТАХ НА БАЗІ РОТАЦІЙНИХ ТЕРМОСИФОНІВ

О.Г. Бурдо, І.В. Безбах, О.В. Зиков, С.В. Шишов

Одеська національна академія харчових технологій

У статті використано принципово новий спосіб вирішення складної науково-технічної проблеми — зменшення питомих витрат енергії при сушінні дисперсних продуктів, термообробці неньютонівських рідин. Розроблено інноваційні конструкції апаратів для термообробки, випарювання неньютонівських рідин, сушіння дисперсних продуктів. Обґрунтовано методики і створено експериментальні стенди для комплексних досліджень процесу випарювання неньютонівських рідин, сушіння дисперсних продуктів в апаратах на базі ротаційних термосифонів.

Досліджено вплив конструктивних і режимних параметрів на кінетику процесу випарювання харчових неньютонівських рідин, сушіння дисперсних продуктів в апаратах на базі ротаційних термосифонів. Наведено результати досліджень, що проведені на експериментальних стендах кафедри процесів обладнання та енергетичного менеджменту Одеської національної академії харчових технологій. Експериментальні дослідження підтверджують, що технічною базою для удосконалення технологій сушіння, концентрування, термообробки можуть стати сучасні способи ефективної теплопередачі — ротаційні термосифони, а також апарати на їх основі. Експерименти випарювання проведені на томатній масі, яблучному пюре в широкому діапазоні параметрів. При сушінні дисперсних продуктів отримано термограми, лінії сушіння для пшениці, амаранту, проса, вареного гороху в установці з ротаційним термосифоном. Досліджено вплив режимних параметрів на коефіцієнти тепловіддачі. Встановлено, що на інтенсивність тепло- і масопереносу суттєво впливає частота обертання конденсатора, кут його нахилу та фізичні властивості продукту. Встановлено, що апарат із ротаційним термосифоном забезпечує коефіцієнти теплопередачі в чотири рази вище, ніж у сучасних апаратах.

Ключові слова: *ротаційні термосифони, неньютонівські рідини, дисперсні продукти.*

Постановка проблеми. Виробники продуктів харчування зіштовхуються із жорсткими регламентаціями щодо якості харчових продуктів, енерговитрат й екологічної безпеки підприємства [1—5]. Технології ключових операцій виробництва харчових продуктів — концентрування, термообробка, сушіння, відрізняються високою енергоємністю. На вітчизняному ринку імпорт сушених продуктів займає 95%, вітчизняні заводи-виробники практично відсутні [6].

Аналіз стану зерносушильної техніки показує, що в 48% випадків експлуатуються шахтні агрегати вітчизняного виробництва [6]. ККД таких установок до 30%. Сушильні технології споживають в 2,5...3 рази більше енергії, ніж фізично необхідно. В Україні при виробництві концентратів щорічно випарюється від 1,0 млн т до 1,5 млн т води, що в грошовому еквіваленті становить 300—400 млн грн. Витрата енергії на випарювання становить від $2,8 \cdot 10^6$ кДж на 1 т випаруваної води. Високі енерговитрати при обробці харчових продуктів зумовлюють необхідність розробки нових ефективних апаратів.

Мета дослідження: обґрунтувати методики і створити експериментальні стенди для комплексних досліджень процесу випарювання неньютонівських рідин (ННР), сушіння дисперсних продуктів в апаратах на базі ротаційних термосифонів (РТС), дослідити вплив конструктивних і режимних параметрів на кінетику процесу.

Матеріали і методи. Об'єктами досліджень є як весь технологічний ланцюжок виробництва й енергоємне встаткування, так і продукти, які обробляються. Наведено класифікацію оброблюваних продуктів як об'єктів досліджень (рис. 1).

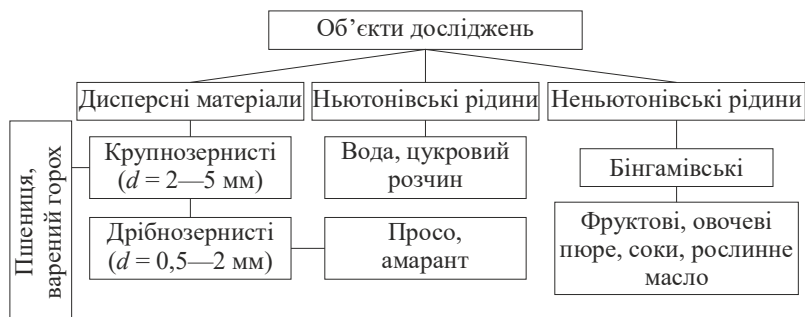


Рис. 1. Об'єкти досліджень

Розглянуто характеристики ННР, дисперсних продуктів як об'єктів дослідження. Для дисперсних зернових продуктів розглянуто граничні температури нагрівання, граничні вологості та інші технологічні параметри, які необхідно знати й дотримуватись при сушінні для того, щоб не зіпсувати продукт [7]. Для ННР розглянуто значення в'язкості та вплив швидкості й напруження зсуву на цю величину. Ці властивості ННР істотно впливають на теплообмін, тому потребують детального аналізу. Розроблено конструкції експериментальних стендів. Для дослідження процесів тепло- і масообміну при сушінні дисперсних продуктів в апараті на базі РТС розроблено експериментальну установку (рис. 2).

Експерименти проводились за періодичною схемою, продукт завантажували у корпус, проводили сушіння, після чого вивантажували. Варіювались режимні параметри: кут нахилу РТС γ ; частота обертів РТС, n ; тиск у конденсаторі РТС, P ; потужність, що підводиться (табл. 1). Початкова вологість продуктів вибиралась згідно з технологічними вимогами ω_n , %. Зволоження зерна перед дослідженнями, розрахунки коефіцієнтів тепло- і масовіддачі проведено за стандартними методиками.

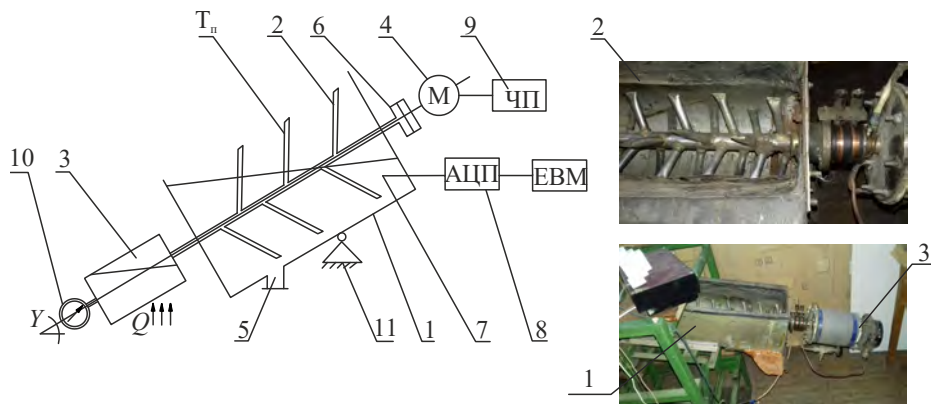


Рис. 2. Конструкція експериментальної установки на базі РТС:

- 1 — корпус; 2 — ротаційний термосифон; 3 — випарник; 4 — електродвигун;
5 — патрубок; 6 — муфта; 7 — термопара; 8 — аналого-цифровий перетворювач;
9 — частотний перетворювач; 10 — манометр; 11 — шарнір

Таблиця 1. Діапазон вимірюваних величин

Продукт	Нахил РТС, γ	Частота обертів РТС, n	Тиск у конденсаторі РТС, P	Потужність, що підводиться	Вологість продуктів початкова, $\omega_n, \%$
	град.	хв ⁻¹	МПа	кВт	
Пшениця	30...45	14...28	0,05...0,15	0,8...1,5	20
Варений горох					25
Амарант					20
Просо					19

Для дослідження процесу випарювання харчових ННР розробили експериментальну установку (рис. 3).

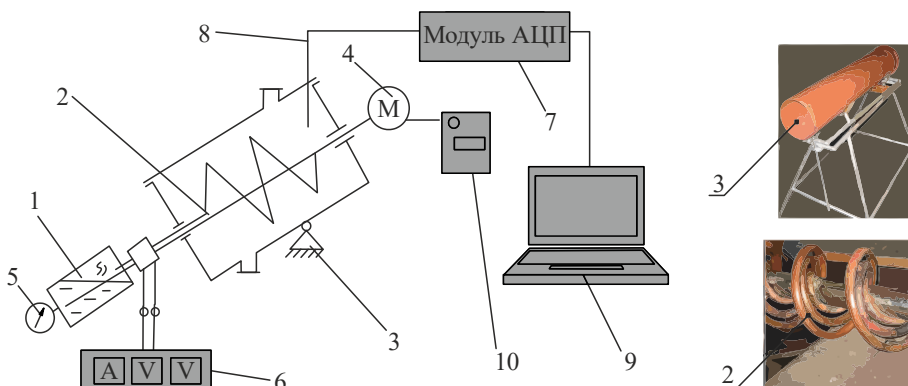


Рис. 3. Схема експериментальної установки:

- 1 — парогенератор; 2 — конденсатор; 3 — корпус; 4 — двигун; 5 — манометр;
6 — вимірювальний комплекс К-50; 7 — аналого-цифровий перетворювач (АЦП);
8 — термопари; 9 — комп'ютер; 10 — частотний перетворювач

Вимірювання температури робили в окремих точках об'єму, після чого значення температури усереднювались. Експерименти проведені на томатній масі, яблучному пюре в широкому діапазоні параметрів (табл. 2). Дані первинних перетворювачів температури надходили на АЦП, перетворювалися в цифровий сигнал і вводилися в комп'ютер.

Таблиця 2. Умови експериментальних досліджень

Продукт	Кут нахилу РТС, γ	Частота обертання РТС, n	Тиск у конденсаторі РТС, P	Потужність нагрівача, N
	градус	хв ⁻¹	МПа	кВт
Яблучне пюре	30...45	2...28	0,05...0,15	0,8...1,5
Томатна маса				

Температуру теплоносія визначали за величиною тиску пари в конденсаторі РТС. Інтервал реєстрації даних — 600 с. Температура поверхні РТС при кипінні розчину підтримувалася постійною.

Результати і обговорення. Наведені результати досліджень, що проведені на експериментальних стендах кафедри процесів обладнання та енергетичного менеджменту ОНАХТ. Отримано термограми при сушінні пшениці, амаранту, проса, вареного гороху в установці з РТС (рис. 4, 5).

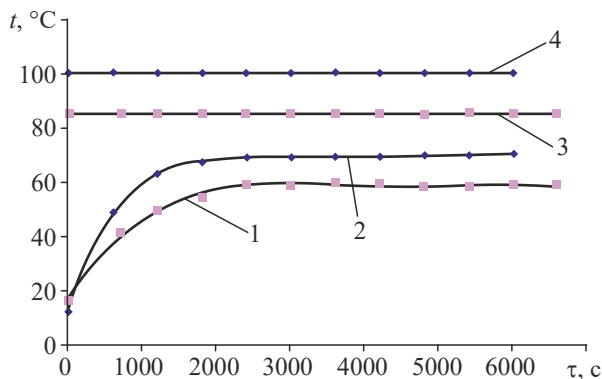


Рис. 4. Зміна температури вареного гороху та поверхні РТС:

1 — температура гороху, $P = 0,05$ МПа; 2 — температура гороху, $P = 0,1$ МПа;
3 — температура поверхні РТС, $P = 0,05$ МПа; 4 — температура поверхні РТС, $P = 0,1$ МПа

На початку процесу в апараті із РТС відбувається інтенсивне пароутворення над поверхнею зерна. Температура зернового шару збільшується, що пов'язано зі зменшенням кількості вологи в зерні. Пшеницю сушили до стану нижчого за рівноважну вологість. Середня вологість повітря в лабораторії 80%. Середня температура зерна в експериментах 60...80°C. За таких умов рівноважна вологість зерна становить 14...16%. Період нагрівання для пшениці триває близько 1000 с для різних температур поверхні РТС. Після цього температура зерна стабілізується, графіки зміни температури набувають автомодельного характеру (рис. 5). Температури зерна в деяких експериментах перевищують технологічно припустимі при сушінні пшениці. Так, при температурах конденсатора РТС 100...120°C відбувається перегрівання зерна вище 60°C, що пере-

вищує технологічні вимоги. Такі режими обрані для того, щоб максимально розширити діапазон експериментальних значень, визначити можливості експериментальної установки.

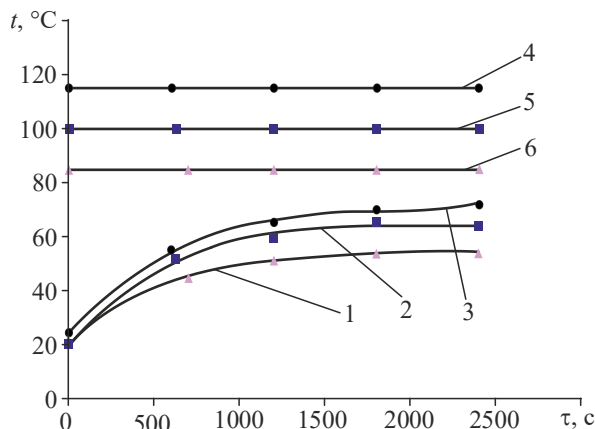


Рис. 5. Зміна температури пшениці та поверхні РТС:

1 — температура пшениці, $P = 0,05$ МПа; 2 — температура пшениці, $P = 0,075$ МПа; 3 — температура пшениці, $P = 0,1$ МПа; 4 — температура поверхні РТС, $P = 0,05$ МПа

Для зручності аналізу динаміки нагрівання різних зернопродуктів температурні криві при однаковій температурі поверхні РТС і частоті обертання нанесені на одну діаграму (рис. 6).

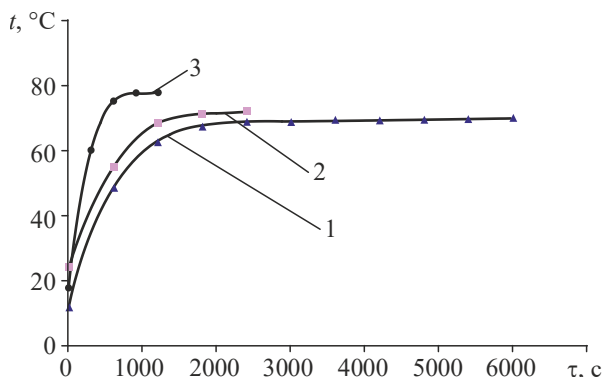


Рис. 6. Порівняння температур та динаміки нагріву для різних зернових продуктів при $T_n = 100^\circ\text{C}$ та $n = 14$ об/хв.: 1 — варений горох; 2 — пшениця; 3 — амарант

Період прогріву гороху триває близько 2000 с, зерна пшениці — 1000 с. Якщо порівняти з іншими зернопродуктами, то амарант прогрівається найбільш динамічно. Так, уже через 600 с настає автономність графіків. Якщо порівнювати з іншими зернопродуктами, то прогрів амаранту відбувається в 3,3 раза швидше ніж гороху, в 1,7 раза швидше, ніж пшениці, що пояснюється його теплофізичними властивостями, а також розміром зерен. При сушінні вареного гороху в апараті з РТС сполучаються два технологічних процеси — сушіння й плющення вареного гороху. Необхідно було перевірити ступінь

подрібнювання гороху й відповідність гранулометричного складу цього продукту технологічним вимогам (рис. 7).

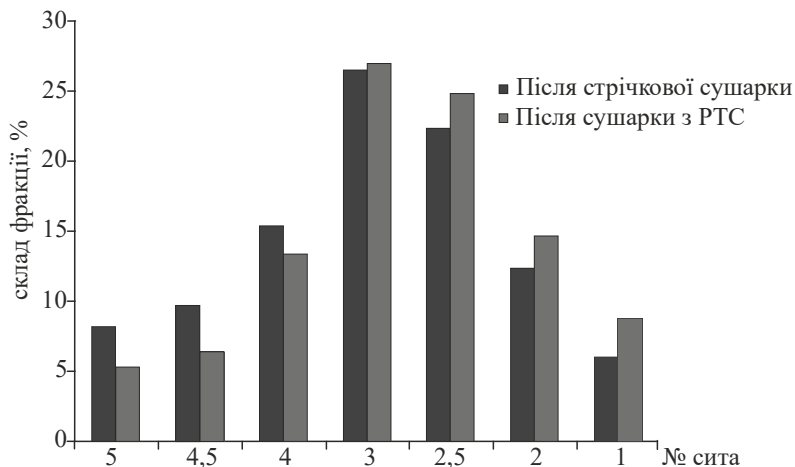


Рис. 7. Гранулометричний склад вареного гороху

Дослідження гранулометричного складу проведено за методом ситового аналізу — шляхом механічного розділення матеріалу на фракції із частинками визначеного розміру. Варіаційні криві (рис. 7) показують, що продукт після сушіння в апараті із РТС містить більший відсоток менших фракцій, що задовольняє технологічні потреби виробництва.

Досліджено вплив кута нахилу РТС, частоти обертання РТС, витрат властивостей продукту на інтенсивність тепловіддачі при випарюванні харчових ННР. Проведено комплексні експериментальні дослідження з випарювання яблучного пюре в апараті з РТС. Для зручності аналізу термограми й зміни сухих речовин (СР) від тривалості процесу побудовані в одній координатній сітці. Концентрація при випарюванні яблучного пюре при частоті обертання РТС $n = 14$ об/хв і куті нахилу $\gamma = 30^\circ$ збільшується, наближаючись до теоретичної границі (рис. 8а).

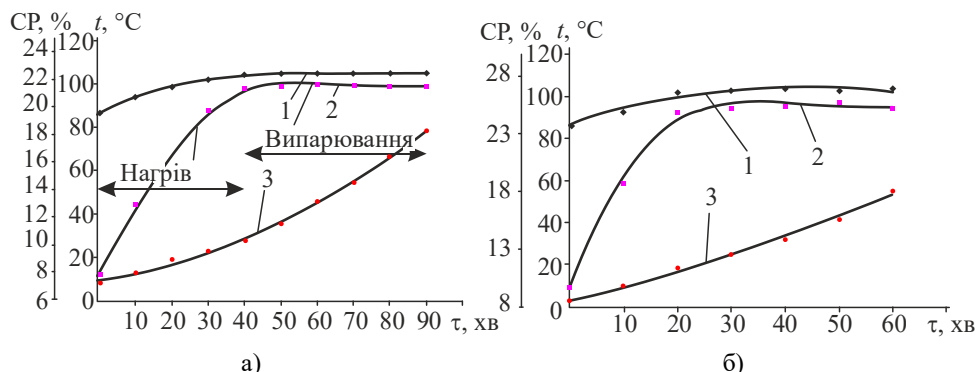


Рис. 8. Зміна вмісту СР і термограми при випарюванні яблучного пюре, $n = 14$ об/хв:

а) $\gamma = 30^\circ$, б) $\gamma = 45^\circ$; 1 — температура поверхні РТС; 2 — температура продукту;
3 — концентрація сухих речовин

При зміні кута нахилу РТС з $\gamma = 30^\circ$ до $\gamma=45^\circ$ період нагрівання розчину до температури кипіння при інших рівних параметрах зменшується вдвічі (рис. 8б). При збільшенні кута нахилу РТС поліпшуються внутрішні гідродинамічні умови для повернення конденсату у випарник РТС. Відповідно, зменшується термічний опір стінки конденсатора. Коефіцієнт теплопередачі зростає.

Вплив частоти обертання РТС на тривалість нагрівання яблучного пюре до температури кипіння при куті нахилу 30° показано на рис. 9. Зміна частоти обертання в 14 разів прискорює процес нагрівання вдвічі.

Інтенсивне руйнування приграничного теплового шару безпосередньо поверхнею теплопередачі призводить до зменшення зовнішнього термічного опору. Зростає коефіцієнт теплопередачі залежно від частоти обертання РТС. Теплота в розчин передається більш ефективно. Інтенсифікація процесу теплообміну впливає не на температуру кипіння розчину, а на швидкість випарювання води з розчину.

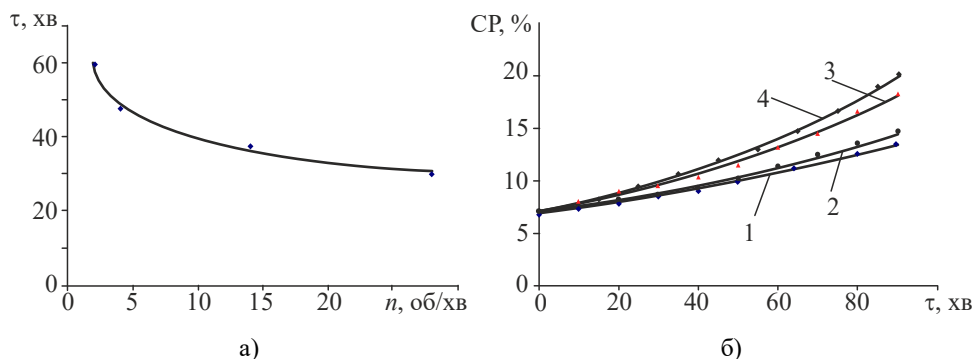


Рис. 9. Вплив частоти обертання РТС: а) на тривалість нагрівання яблучного пюре до температури кипіння, $\gamma = 30^\circ$; б) на зміну вмісту СР яблучного пюре, $\gamma = 30^\circ$:

1 — $n = 2$ об/хв; 2 — $n = 4$ об/хв; 3 — $n = 14$ об/хв; 4 — $n = 28$ об/хв

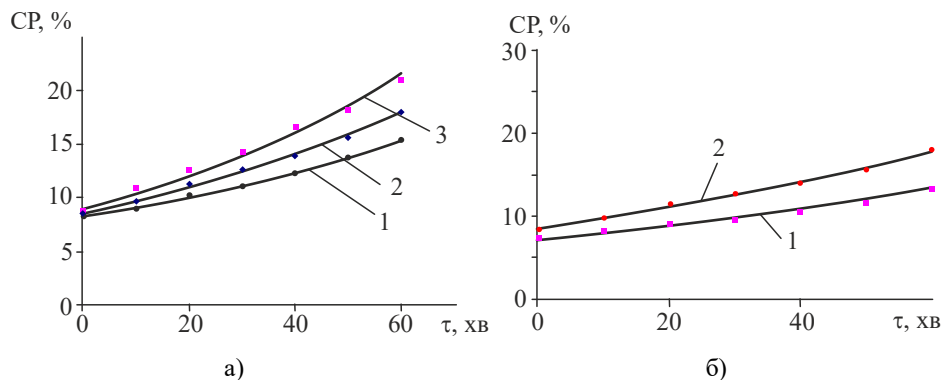


Рис. 10. Вплив режимних параметрів на зміну вмісту СР яблучного пюре:

а) вплив частоти обертання РТС, $\gamma = 45^\circ$: 1 — $n = 4$ об/хв; 2 — $n = 14$ об/хв; 3 — $n = 28$ об/хв.; б) вплив кута нахилу РТС, $n = 14$ об/хв: 1 — $\gamma = 30^\circ$; 2 — $\gamma = 45^\circ$

Залежність зміни швидкості сухих речовин від частоти обертання показана на рис. 10а. Порівняно з кутом нахилу РТС $\gamma = 30^\circ$ при $\gamma = 45^\circ$ інтенсивність

випарювання зростає (рис. 10б). Збільшення кута нахилу з 30° до 45° призводить до підвищення сухих речовин у продукті на 36%. Швидкість випарювання води з розчину зростає при збільшенні частоти обертання і кута нахилу РТС (рис. 10). Проведено дослідження з випарювання томатної маси в апараті з РТС. Максимальна концентрація сягала 18,5% СР. Концентрація змінюється за експонентною залежністю (рис. 11).

Період нагрівання томатної маси до температури кипіння близько 30 хв, після чого відбувається випарювання води з поверхні. Томатна маса випаровується при атмосферному тиску. Спостерігається випарювання води в період нагрівання розчину до температури кипіння. Швидкість видалення води в період нагрівання нижча, ніж під час інтенсивного кипіння розчину. При зміні кута нахилу РТС з $\gamma = 30^\circ$ до $\gamma = 45^\circ$ період нагрівання томатної маси до температури кипіння при інших рівних параметрах зменшується до 30 хв (рис. 11).

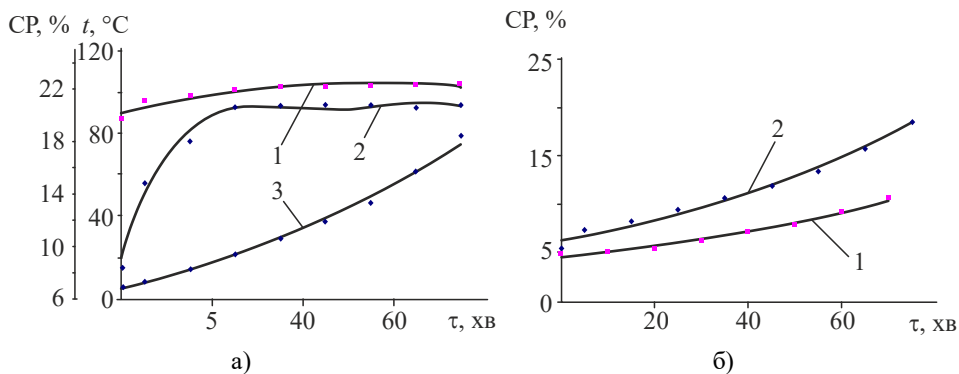


Рис. 11. Вплив режимних параметрів на зміну вмісту СР томатної маси:

а) термограми, $n = 28$ об/хв, $\gamma = 45^\circ$: 1 — температура поверхні РТС; 2 — температура продукту; 3 — концентрація сухих речовин; б) вплив частоти обертання РТС, $\gamma = 30^\circ$: 1 — $n = 4$ об/хв; 2 — $n = 28$ об/хв

При обробці томатної маси підвищення частоти обертання конденсатора в 7 разів призводить до підвищення вмісту сухих речовин у продукті в 1,7 раза.

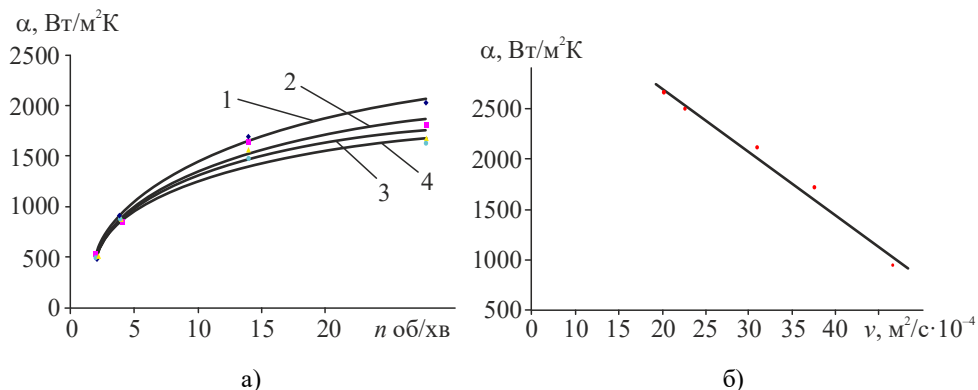


Рис. 12. Вплив на коефіцієнт тепловіддачі від конденсатора РТС до продукту при випарюванні яблучного пюре: а) частоти обертання:

1 — 10,5%, 2 — 11,5%, 3 — 14,5%, 4 — 17,5% СР; б) в'язкості продукту

Визначено коефіцієнти тепловіддачі до продукту (α) при випарюванні томатної маси, яблучного пюре (рис. 12). Для досліджуваних рідин спостерігається ріст α зі збільшенням частоти обертання РТС, що пов'язано з руйнуванням теплового граничного шару безпосередньо поверхнею теплопередачі; зі збільшенням кута нахилу РТС, що зв'язано з поліпшенням гідродинамічних умов усередині конденсатора РТС. Збільшення концентрації розчину призводить до збільшення його в'язкості й зменшення α .

Висновки

1. Експериментальні дослідження підтверджують, що технічною базою для удосконалення технологій сушіння, концентрування, термообробки можуть стати сучасні способи ефективної теплопередачі РТС, а також апарати на їх основі.

2. Обґрунтовано методики і створено експериментальні стенди для комплексних досліджень процесу випарювання ННР в апаратах на базі РТС, досліджено вплив режимних параметрів на коефіцієнти тепловіддачі. Встановлено, що на інтенсивність теплопереносу суттєво впливає частота обертання конденсатора, кут його нахилу та фізичні властивості продукту. З підвищенням в'язкості продукту ефективність апаратів із РТС (порівняно з традиційними) зростає. Встановлено, що апарат із РТС забезпечує коефіцієнти теплопередачі, при обробці харчових рідин з в'язкістю від 0,8 до 1,5 Па·с, у діапазоні 500...2600 Вт/м²·К, що в чотири рази вище, ніж у сучасних апаратах.

3. Обґрунтовано методики і створено експериментальні стенди для комплексних досліджень процесу сушіння дисперсних продуктів в апаратах на базі РТС, досліджено вплив режимних параметрів на коефіцієнти масовіддачі. Зростання швидкості обертання РТС вдвічі призводить до підвищення коефіцієнта масовіддачі на 40%, підвищення температури поверхні термосифону на 10°C, до зростання коефіцієнта масовіддачі β на 8%.

Література

1. Nada Smigic, Ilija Djekic, Margarida Liz Martins, Ada Rocha, Nikoleta Sidiropoulou, Eleni P. Ka-logianni, The level of food safety knowledge in food establishments in three European countries. *Food Control*, Vol. 63, May 2016, P. 187—194, ISSN 0956-7135.
2. Chaminda N. Walpita, Patrick Sorgeloos, Iddya Karunasagar, K.K.D.S. Ranaweera, Mieke Uytten-daele, Elien De Boeck, Liesbeth Jacxsens, International Conference of Sabaragamuwa University of Sri Lanka 2015 (ICSUSL 2015) Challenges in Food Safety as Part of Food Security: Lessons Learnt on Food Safety in a Globalized World. *Procedia Food Science*, Vol. 6, 2016, P. 16—22, ISSN 2211-601X.
3. Pereira R.N., Vicente A.A. Environmental impact of novel thermal and non-thermal technologies in food processing. *Food Research International*, Vol. 43, Is.7, August 2010, P. 1936—1943, ISSN 0963-9969.
4. Nevenka Hrovatin, Nives Dolsak, Jelena Zoric, Factors impacting investments in energy efficiency and clean technologies: empirical evidence from Slovenian manufacturing firms. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 127, 20 July 2016, P. 475—486, ISSN 0959-6526.
5. Steven Meyers, Bastian Schmitt, Mae Chester-Jones, Barbara Sturm, Energy efficiency, carbon emissions, and measures towards their improvement in the food and beverage sector for six European countries. *Energy*, Vol. 104, 1 June 2016, P. 266—283, ISSN 0360-5442.
6. Сучасний стан галузей економіки України: проблеми та шляхи вирішення: моногр. / за ред. І.І. Савенко, І.О. Седікової. Харків: ТОВ «Пром-Арт», 2018. 433 с.
7. Bezbah I.V., Burdo O.G. Rotating heat pipes in devices for heat treatment of the food-stuffs. *Applied Thermal Engineering*, Vol. 28, Is. 4, March 2008, P. 341—343.

METHODS OF CALCULATION OF OPTIMAL PARAMETERS OF ROLLING

I. Stadnyk, S. Fedak

Ternopil Ivan Pului National Technical University

B. Pashchenko, N. Tkachuk

National University of Food Technologies

Key words:

*Dough
Injection
Heat conduction
Heat propagation
Heat flux
Roll
Phase
Medium*

Article history:

Received 08.11.2018

Received in revised form

29.11.2018

Accepted 13.12.2018

Corresponding author:

I. Stadnyk

E-mail:

npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The analytical analysis of roller impact on the medium and its behavior at deformation influences are carried out, ways of choosing an optimal variant of the process for providing the maximum or minimum value of parameters (criterion) are proposed. The physical essence of the equation of energy flows of the intensity of deformation of the mass of the medium, which depends on the method of applying mechanical forces, the degree of its previous dispersion (recipe) and its physical and mechanical properties, is considered. For a more visual view and understanding of the overall performance of the research, a scheme of causal relationships between the medium and the roll, which determine the temperature change of the dough injection process, is proposed.

It is noted that the definition of temperature fluxes during the process of injection of the medium by roller working bodies plays an important role in calculating the design of molding, roll-over, mixing equipment. The obtained data answer a number of questions about the possibility of thermoregulation of the process of the work of the working bodies into the environment. A set of measures for measuring the temperature during the use of devices was carried out. On the basis of their data, a real temperature change in the roller unit of the molding machine is considered, with a comparative analysis of existing ones with a newly designed design.

The change of the energy potential in the interaction of the viscous medium with rotating roller working bodies in the molding machine is considered. An exchange of energy between moving particles is discovered due to collisions of molecules of a more heated part of the body with a greater energy and the transfer of the energy particle to adjacent particles with less energy. It is noted that the definition of temperature fluxes during the process of injection of the medium by roller working bodies plays an important role in calculating the design of molding, roll-over, mixing equipment.

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ВАЛКОВОГО РОЗКАЧУВАННЯ

І.Я. Стадник, С.І. Федак

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Б.С. Пашенко, Н.А. Ткачук

Національний університет харчових технологій

У статті проведено аналітичний аналіз дії валків на середовище при деформаційних впливах. Запропоновано шляхи вибору оптимального варіанта процесу для забезпечення максимального або мінімального значення параметрів (критерію). Розглянуто фізичну сутність рівняння енергетичних потоків інтенсивності деформації маси середовища, що залежить від способу прикладання механічних сил, ступеня його попередньої дисперсності (рецептура) і фізико-механічних властивостей. Для більшої наглядності і розуміння загального виконання досліджень запропоновано схему причинно-наслідкових зв'язків між середовищем і валком, що визначають зміну температури процесу нагнітання тіста.

Відмічено, що визначення температурних потоків при проходженні процесу нагнітання середовища валковими робочими органами відіграє важливу роль для розрахунків конструювання формувального, розкочувального, змішувального обладнання. Одержані дані дають відповідь на ряд запитань про можливість терморегулювання процесу дії робочих органів на середовище.

Розглянуто зміну енергетичного потенціалу при взаємодії в'язкого середовища з обертовими робочими органами ролика у формувальній машині. Обмін енергії між рухомими частинками виявляється внаслідок зіткнення молекул більш нагрітої частини тіла з більшою енергією та перенесення енергетичної частки до сусідніх частинок з меншою енергією. Відзначено, що визначення температурних потоків під час процесу інжекції середовища робочими органами роликів відіграє важливу роль у розрахунку дизайну формування, перевертання, змішування.

Ключові слова: тісто, нагнітання, теплопровідність, поширення теплоти, тепловий потік, валок, фаза, середовище.

Постановка проблеми. Одним із основних напрямків раціонального технічного забезпечення процесу формування виробів у різних галузях промисловості є машини з валковими робочими органами. На сьогодні розроблено не так багато конструкцій валкових робочих органів, які виконують технологічну операцію з нагнітання, розкачування, транспортування в'язкого середовища. Багато з цих машин потребує удосконалення та дослідження з метою впровадження нових розробок у їх виробництво. Особлива увага приділяється малогабаритним ефективним машинам з контрольованими процесами, що відбуваються в робочій камері. При створенні або модернізації малогабаритних машин з явно вираженими валковими робочими органами особливу увагу необхідно зосередити на обґрунтуванні технологічної схеми та відпо-

відному конструктивному розв'язанні прийнятих рішень [1; 2]. Оскільки конструктивні параметри взаємопов'язані з процесом, то це суттєво впливає на можливість виготовлення такої машини в умовах підприємств, технологічні можливості яких орієнтовані на ремонт і відновлення техніки.

Машини, які застосовуються для формування в'язкого середовища, повинні впливати на нього таким чином, щоб втрати сировини і готової продукції були мінімальними, а якість виробів висока. Це вимагає забезпечення повної відповідності режимів обробки, геометричних форм і конструктивних параметрів робочих валкових органів та структурно-механічним властивостям в'язкого середовища. Поставлена проблема визначила сучасні тенденції конструювання валкових робочих органів у машин різного класу, де вони виконують робочі процеси: розкачування, нагнітання, замішування, транспортування [3].

Відставання наукових розробок від потреб практики пояснюється надзвичайно широким діапазоном властивостей технологічних середовищ, різноманіттям використовуваних матеріалів для їх транспортування і відмінністю умов їх експлуатації [1]. Крім того, дослідження розкачування в'язкого середовища валками пов'язане з певною складністю через необхідність залучення до розв'язання проблем сучасних знань і методів з різних галузей науки: фізико-хімічної механіки матеріалів, фізики твердих тіл, металознавства тощо.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Конструктивні параметри валків спрямовані для забезпечення потоків тіста при його вирівнюванні і перерозподіленні в об'ємі його маси за рахунок плавного затягування, транспортування і нагнітання в зазорі між ними. Хоча процес нагнітання середовища (тіста) за допомогою валків на перший погляд здається простим, однак побудова його математичної моделі і пошук основних розрахунків залежностей досить складний. Зараз є ряд рішень вказаної задачі, які базуються на спрощенні дійсного процесу і не враховують впливу еластично-в'язкої та пластичної структури тіста і дії на неї коливальних тиску.

У загальному випадку продуктивність вузла нагнітання (кг/с), що має валкові робочі органи різного діаметра, які обертаються з різною швидкістю, може бути визначена за такою формулою [3]:

$$P = \pi l \delta \rho (R_1 n_1 K_1 + R_2 n_2 K_2). \quad (1)$$

Для випадку однакових діаметрів валкових робочих органів, які обертаються з однаковою швидкістю, продуктивність розраховують так:

$$P = 2\pi R l \delta \rho n K, \quad (2)$$

де l — довжина робочого ланцюга живильника, м; δ — ширина зазору, м; R_1 і R_2 — радіуси валків, м; n_1 і n_2 — частота їх обертання, с^{-1} ; K_1 , K_2 — коефіцієнти подачі тіста, що залежать від діаметра валка і консистенції тіста. Для тіста з пшеничного борошна І та вищого гатунків K становить 0,7 при $R = 0,15$ м, при зменшенні R — знижується; ρ — середня густина тіста, кг/м^3 .

Через те, що тиск тіста на валкові робочі органи передається по нормалі, на підставі робочого тиску, який задається, і епюри його зміни по довжині

робочої камери можна визначити сили, які діють на них в зонах живлення і розкачування:

$$P_{\pi} = 0,5 P_p R l ; \quad (3)$$

$$P_{\pi} = P_p R l \beta . \quad (4)$$

Момент на валковому робочому органі створюється під дією тангенціальних сил P_{π} і P_{π} , що виникають внаслідок тертя тіста по валику і направлені в бік, протилежний напрямку обертання валиків.

$$M_{\pi} = 0,5 P_p R^2 l t g \varphi ; \quad (5)$$

$$M_{\pi} = P_p R^2 k l t g \varphi , \quad (6)$$

де φ — кут тертя тіста по валковому робочому органі; для тіста пшеничного залежно від рецептури і вологості становить 25—30°; $t g \varphi$ (змінюється від 0,47 до 0,57).

Оскільки валкові робочі органи зв'язані між собою зубчастою передачею і обертаються в різні боки, то їх крутні моменти збігаються. В нашому випадку результуючий момент на приводному валу (в Н·м) становить:

$$M = P_p R^2 l (\alpha + 2\beta) t g \varphi . \quad (7)$$

Для виконання вказаних розрахунків необхідно знайти раціональні конструктивні розміри валків, які відповідають проектній потужності на заданих сортах тіста. У наведених розрахунках відсутні визначення впливу кута зтягування (контакту) на розподілення стикованості маси тіста при нагнітанні, тобто в зонах вузла.

Матеріал. Тісто, вологістю 33%, для бубликів із пшеничного борошна вищого сорту на пресованих дріжджах, готувалося безопарним способом з тривалістю бродіння 60 хвилин при температурі 32—33°C. Якість пресованих дріжджів відповідає стандартам. Характеристики борошна пшеничного:

- масова частка вологи, % — 14,5;
- вміст сирі клейковини, % — 28;
- опір клейковини стисненню на приладі ІДК-1, од.прил. — 54;
- розтяжність клейковини, см — 14.

Методи. Будь-яку зі структурних схем існуючих і розроблених з використанням валкових робочих органів можна математично описати за наявності рівнянь, що зв'язуються у часі безперервними функціями. До них відносяться геометричні розміри обладнання та характеристики робочих валків, а також властивості і фізико-механічний стан в'язкого середовища, що залежить від умов розкачування.

На основі розроблених підходів для опису процесу нагнітання тіста в зазорі між валками [4—6], було використано гідродинамічну теорію каландрування псевдопластичної рідини. Це дає змогу встановити кількісні залежності між геометричними характеристиками робочого простору (зазору) та властивостями матеріалів і режимів обробки. При використанні цієї теорії

процесу одержано ряд формул, що дають змогу визначити тиск у зазорі між валками, виходячи з параметрів і в'язкості середовища.

Визначені в результаті експерименту залежності описуються частковими алгебраїчними функціями. Для узагальнення часткових залежностей використано багатофакторну функцію Протодіяконова, застосування якої для обробки результатів хімічних досліджень [2; 6] дає змогу отримати адекватні результати.

Характеристики тіста з незруйнованою структурою досліджували приладом РВ-8. Досліди проводилися при невеликих зусиллях зсуву, величина яких менша за граничне напруження зсуву, фіксуючи через кожні 10–20 секунд величини деформацій, які визначають за відхиленням стрілки. Знаючи геометричні характеристики приладу і дані вимірювання, розраховано напруження зсуву τ' :

$$\tau' = \tau - \tau_k = \frac{(m - m_0)gR_{\text{шк}}}{2\pi R_b^2 h_{\text{пр}}},$$

де m — маса вантажу, який обертає ротор. Складається з маси двох важків і маси чашок, кг (за винятком величини, що компенсує тертя в підшипниках); m_0 — маса вантажу, при якій ротор починає обертатися. Відповідно до [4] визначали пластичну в'язкість: $\mu_{\text{пл}} = (\tau - \tau^1) / \gamma$.

Аналіз досліджень нагнітання тіста та показників роботи існуючих машин свідчить про складність процесу, недостатню стабільність і надійність роботи, компоненти подаються в робочу камеру нерівномірно. Крім того, на якість нагнітання валками впливає цілий ряд інших факторів: фізико-механічні властивості сировини, режим роботи, недостатній імпульс зовнішніх сил в осьовому зміщенні та надмірна кількість робочих органів тощо. Це пов'язано з тим, що конструкція, параметри робочих органів і кінематика руху їх ще недостатньо вивчені. Тому, незважаючи на значну кількість наукових напрацювань, актуальною проблемою залишається розробка нових, більш перспективних технічних конструктивних рішень робочих органів, робочих камер з покращенням якісних показників виробів на основі побудови математичної моделі.

У [7] з'ясовано, що при стисканні тісто в закритому об'ємі виявляє властивості пружності за рахунок в основному газової фази та частково — пружного білкового скелета. Визначення впливу стискання тіста у процесі розкачування обґрунтовує подальші технологічні процеси й дослідження його властивостей. Стискуваність дріжджового тіста [7] пояснюється двома причинами: стискуваністю газових бульбашок і деформацією структурної сітки. За умов розкачування говорити про зменшення відстаней між молекулами біополімерів у складі тіста недоцільно, оскільки для цього потрібен надто високий тиск. Відповідно, вважаємо, що об'єм напівфабриката зменшується тільки внаслідок стискання і подальшого розчинення у рідкій фазі тіста газових пухирців.

Як бачимо, визначення руху середовища в зазорі між валками є досить складною і в той же час практично важливою проблемою. Вона пов'язана з

необхідністю проведення різного роду розрахунків формуючих робочих валків у визначенні їх дії на середовище. Для вирішення такого класу задач необхідно залучити алгебру логіки і теорію множини, властивості середовища, що дають змогу розглянути компонування як упорядковану множину робочих ланок, а різноманітні їх сполучення — як логічні відношення елементів цієї множини. Вирішення поставлених завдань можливе на основі ретельного вивчення суті процесу, що відбувається під час розкачування. Такий підхід дасть змогу встановити характер стадійного розподілення стикованості маси тіста в зазорі між обертовими валками з урахуванням кута контакту.

Мета дослідження: розроблення методики визначення і розподілення рівня стиснення тіста в зазорі між валковими робочими органами.

Викладення основних результатів дослідження. Вивчення праць [1; 4; 5] показало, що нерівномірність швидкості руху середовища (бубличного, дріжджового, пшеничного тіста) обумовлена характером їхньої течії. Тому суттєвим фактором збільшення ефективності інтенсивної дії валків на середовище є рівномірність розкачування його елементарних об'ємів, що надходять із робочої камери машини. Оскільки питома подача середовища є однаковою для всіх елементарних об'ємів маси, що знаходяться в зазорі між валками, в'язкість залишається постійною і ми враховували її при розрахунках.

Розглянемо процес розкачування тіста між валками. Закономірність зміни товщини пласту тіста при розкачуванні між валками наведено на рис. 1. При розкачуванні валками циліндричної форми товщина тіста постійно змінюється в середній частині пласту, тобто в зоні захватування. На виході з валків товщина однакова. Всі цикли розкачування валками криволінійної поверхні відбуваються без зміни зазора середньої частини валків від захвату до захвату. Це дає змогу стисненню і здвигу тіста при формуванні валками по ходу розкатки з досягненням по всій поверхні пласту однакової товщини. Валки одного і того ж діаметра обертаються з однаковою кутовою швидкістю ω , радіусом R , довжиною L . Робоча поверхня валків знаходиться між зазорами h_s і h_0 , де h_s — відстань між поверхнями валків при наявності тіста; h_0 — мінімальний зазор між валками.

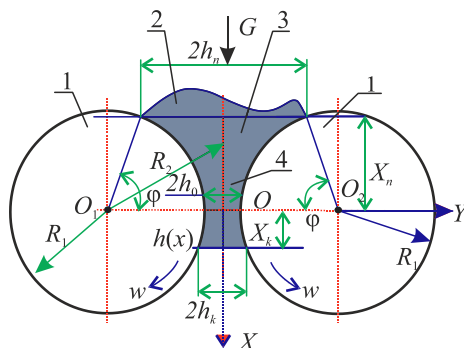


Рис. 1. Схема руху тіста у вертикальному зазорі між валками:

1 — валки; 2 — тісто; 3, 4 — перша (протитокова)
і друга (прямотокова) зони в'язкопластичної зсувної течії

При нагнітанні маса тіста багаторазово проходить через усі ділянки робочої камери, при цьому отримує деформації. Зусилля на тісто характеризуються збільшенням тиску в напрямку обертання валків і асиметрією діючих сил, які визначають геометрію робочого об'єму (рис. 1). Маса тіста при виході з ділянки розкачування деформується розтягуванням одночасно з об'ємним зсувом. Найбільш суттєвою є складова тиску, що виникає внаслідок допустимих напружень і зміни фізико-механічних властивостей тіста. З урахуванням конструктивних особливостей вузла нагнітання математична модель процесу виглядає так (6):

$$P = \frac{2\mu}{R} \int \frac{\left(Q - \frac{\omega R h}{2}\right) d\varphi}{(R+h) \left[\lg\left(1 + \frac{h}{R}\right) - \frac{h}{2} \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R+h}\right) \right]} + C_3 ;$$

де R — радіус валкового робочого органу, мм; h — величина зазору, мм; Q — витрати тіста, кг/с; μ — вязкість Па·с.

Нехай $P(\varphi = 0) = P_0$, тоді:

$$P = \frac{2\mu}{R} \int | + C \Rightarrow + C_3 = P_0 - \frac{2\mu}{R} \int ;$$

$$P_0 = \frac{2\mu}{R} \int \Big|_{\varphi=0} + C_3 \Rightarrow C_3 = P_0 - \frac{2\mu}{R} \int \Big|_{\varphi=0} ;$$

$$P(\varphi) = P_0 - \frac{2\mu}{R} \int_0^\varphi \frac{\left(Q - \frac{\omega R h}{2}\right) d\varphi}{(R+h) \left[\ln\left(1 + \frac{h}{R}\right) - \frac{h}{2} \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R+h}\right) \right]} .$$

Введемо позначення :

$$I_k(\varphi) = \int_0^\varphi \frac{h^k d\varphi}{(R+h) \left[\ln\left(1 + \frac{h}{R}\right) - \frac{h}{2} \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R+h}\right) \right]} ; k=0,1$$

$$I_1(\varphi) = \int_0^\varphi \frac{h^k d\varphi}{(R+h) \left[\ln\left(1 + \frac{h}{R}\right) - \frac{h}{2} \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R+h}\right) \right]} .$$

Тоді:

$$P(\varphi) = P_0 + \frac{2\mu}{R} \left(Q I_0(\varphi) - \frac{\omega R}{2} I_1(\varphi) \right) .$$

Вилучимо змінну Q з умов, що розподіл тиску є періодичною функцією кута φ , тобто: $P(\varphi + 2\pi) = P(\varphi)$.

Для випадку $\varphi(\frac{\pi}{2}) = P(0) = P_0$, отже:

$$P = P_0 + \frac{2\mu}{R} \left[\left(QI_0\left(\frac{\pi}{2}\right) - \frac{\omega R}{2} I_1\left(\frac{\pi}{2}\right) \right) \right]. \quad (8)$$

З рівняння видно, що величина розміщення маси тіста (кут поверхні зтягування маси на валку) значною мірою визначає величину тиску. Функція $P(\varphi)$ залежить від кута, а не від часу, тому похідні не будуть характеристиками швидкості та прискоренням процесу ущільнення. Вводимо додаткові функції, що розкривають дискретність процесу нагнітання:

$$F(\varphi) = \ln\left(1 + \frac{h}{R_2 \cdot \sin(\varphi)}\right) - \frac{h}{2} \cdot \left(\frac{1}{R_2 \cdot \sin(\varphi)} + \frac{1}{R_2}\right);$$

$$L(\varphi) = Q - \omega \cdot R_2 \cdot \sin(\varphi) \cdot \frac{h}{2}.$$

Враховуючи наші дані та використавши (8), побудовано графік (рис. 2).

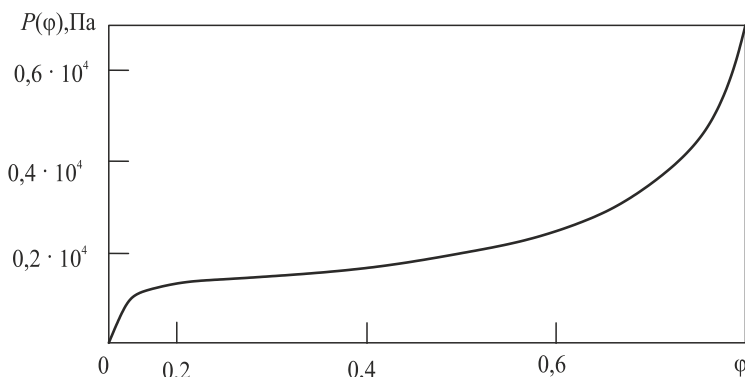


Рис. 2. Графік залежності тиску від кута зтягування φ

Як бачимо, функція $P(\varphi)$ визначена для кута φ від 0,1277 до 0,8034 рад. Вона характеризується трьома ділянками залежно від кута φ (рис. 2). Перша ділянка (початок процесу) φ від 0,8034 до 0,65 радіан (процес зтягування й ущільнення). Він характеризується зменшенням $P(\varphi)$ від $0,705 \cdot 10^4$ до $0,229 \cdot 10^4$.

При цьому відбувається нелінійне зменшення похідної $\frac{dP(\varphi)}{d\varphi}$ та нелінійне

зменшення другої похідної $\frac{d^2P(\varphi)}{d\varphi^2}$ до 0. Друга ділянка вказує на стабілізацію процесу, де φ знаходиться від 0,65 до 0,24 радіан. Вона також характеризує часткове зменшення P від $0,229 \cdot 10^4$ до $0,145 \cdot 10^4$. Відповідно, відбувається

лінійне зменшення похідної $\frac{dP(\varphi)}{d\varphi}$ та другої похідної $\frac{d^2P(\varphi)}{d\varphi^2} = 0$ (або невиз-

начена). Третя ділянка при φ від 0,24 до 0,1277 радіан: функція $P(\varphi)$ зменшується від $0,145 \cdot 10^4$ до 0; нелінійне збільшення похідної $\frac{dP(\varphi)}{d\varphi}$; нелінійне зменшення другої похідної $\frac{d^2P(\varphi)}{d\varphi^2}$ від 0.

З вищенаведеного обґрунтування впливу взаємодії валка з тістом випливає, що оптимальна пружність тіста істотно залежить від співвідношення заданих величин утвореного стискання між ними та незначно — від температури навколишнього середовища в діапазоні температур t_0 від 20°C до 35°C. З огляду на те, що проходить зміна стискання тіста з відхиленням і, відповідно, структурно-механічних властивостей тіста, використовуючи математичну модель (8), ми визначили вплив оптимального рівня стискання тіста на структуру готової продукції. При цьому використано дослідні дані зміни величин в'язкості відносно плинку кута затягування маси тіста. Встановлено, що ця величина коливається в малих діапазонах і для в'язкості тіста на початку дискретної дії валків має незначні зміни. Конструкція поверхні нового валка дала змогу при однакових технологічних параметрах зменшити вплив на тісто і покращити якість формування. При цьому зменшуються втрати сухих речовин, технологічний брак. Графічна залежність оптимального ступеня стискання тіста від співвідношення заданих величин зміни в'язкості з плинком кута затягування побудована на рис. 3. Одночасно відображено зміну структури готових бубликів з урахуванням дискретності процесу нагнітання за розробленою методикою [7].

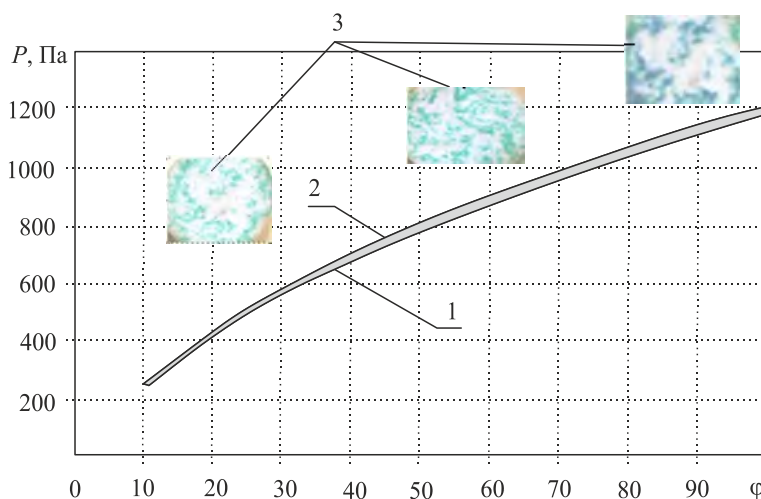


Рис. 3. Вплив кута затягування тіста φ на його стискання P при нагнітанні на другій ділянці: 1 — стискання після багатьох циклів дискретності; 2 — стискання на початку дії валків; 3 — структура готового бублика

З графічної залежності (рис. 3) випливає, що стискування маси тіста відбувається при змінному тиску. Ця величина коливається в малих значеннях і

для в'язкості тіста на початку дискретної дії валків є незначними. Це наочно видно із структури бублика. Конструкція поверхні нового валка дала змогу при однакових технологічних параметрах зменшити вплив на тісто і покращити якість формування. При цьому зменшуються втрати сухих речовин і технологічний брак.

Висновки

Розроблена модель дає змогу визначати стискуваність тіста на початкових і кінцевих значеннях в'язкості при додержанні заданих технологічних і конструктивних параметрах (температура, рецептура, форма поверхні валка).

Наведений аналіз може стати основою для розробки інженерної методики проектування робочих органів для регулювання стабільності процесу.

Література

1. Drozdziel Pawel, Derkach Andrij, Stadnyk Igor, Vitenko Tatiana Simulation of components mixing in order to determine rational parameters of working bodies. *Advances in Science and Technology Research Journal*. 2016. Vol. 9. P. 130—138.
2. Stadnyk I., Novak L., Matenchuk L. Global rheological approach to the quality of medium injected by the rollers. *Potravinarstvo Slovak Journal for Food Sciences*. 2018. Vol. 1. P. 1—8.
3. Гаврилко П., Деркач А., Стадник І. Обґрунтування параметрів, що відбуваються в робочих камерах машин з валковими робочими органами. *Хранение и переработка зерна*. 2017. Том 2, № 2(210). С. 34—38.
4. Арет В.А., Мачихин Ю.А. Формование конфетных масс выдавливанием. Москва: МТИПП, 1969. 35 с.
5. Андреев А.Н. Выбор реологической модели пресного слоеного теста. *Проблемы оборудования в торговле и общественном питании: Внутривуз. сб. научн. тр. Л.: ЛИСТ, 1976. Вып. 58. С. 5—8.*
6. Зайцев А.В., Пеленко Ф.В. Моделирование течения вязкой жидкости в трубе. *Электронный научный журнал «Процессы и аппараты пищевых производств»*. Санкт-Петербург: СПбГУНиПТ, 2012. № 1. март 2012.
7. Стадник І.Я. Науково-технічні основи процесів та розробка обладнання для безлопатевого замішування тіста: автореферат док.тех.наук. Київ. 2013. 42 с.
8. Андреев А.Н. Расчет энергосиловых параметров процесса раскатки теста на валковой машине. *Вопросы торгово-технологического оборудования: Внутривуз. Сб. науч. тр. Л.: ЛИСТ, 1975. Вып. 50. С. 4—7.*

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF ALCOHOL DESORPTION PROCESSES FROM WATER SOLUTIONS

A. Sokolenko, O. Shevchenko, O. Stepanets

National University of Food Technologies

Key words:

Fermentation

Distillation

Ethyl alcohol

Solubility

Desorption

Condensation

Henry's law

Article history:

Received 09.11.2018

Received in revised form

27.11.2018

Accepted 18.12.2018

Corresponding author:

A. Sokolenko

E-mail:

npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The paper outlines the results of the generalization and study of the experience in evaluating the causes and levels of the effects of physical-chemical factors due to the limitation of the concentrations of synthesized alcohol under conditions of anaerobic digestion of sugar-containing media. Among the latter are the total osmotic pressure of dissolved C_2H_5OH and CO_2 , as well as the saturation of the liquid fraction of media with carbon dioxide. It is shown that the latter leads to a sharp increase in the resistance of mass transfer on the boundary between fraction separation between yeast cells and the medium.

Comparison of these two factors leads to the conclusion that osmotic pressure of CO_2 is limited by the solubility of its gas fraction in the ratio of 1: 8 with alcohol, therefore it is proposed to use technology in which the concentration of C_2H_5OH is expedient to use at subcritical levels up to 6% vol.

The paper assesses the possibilities of such restrictions by combining fermentation and distillation under vacuum, or by removing alcohol with activated stream of CO_2 using alcoholic absorbers, or by purging the medium with inert gas with the introduction of forced circulation and condensation of steam fractions.

The direction of limiting the effects of saturation media on CO_2 is proposed on the basis of transient processes with desaturation due to variables and regulated pressures in the gas ingenious fraction in accordance with Henry's law.

The presence of effects on the alcohol desorption level of the temperature of the medium is shown, and the efficiency of the processes is proposed to be carried out on the basis of measurements of the concentrations of alcohol in the condensate.

Information about the arrangement of a laboratory equipment, which uses the modes of desorption of ethyl alcohol by dispersed air and carbon dioxide flows, as well as the theoretical positions of desorption processes are given. The prospect of achieving subcritical fermentation regimes and the scheme of designing a system for extracting water-alcohol condensate from the vapor-gas stream of $CO_2 + C_2H_5OH$ have been proven.

DOI: 10.24263/2225-2924-2018-24-6-14

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ДЕСОРБЦІЇ СПИРТУ З ВОДНИХ РОЗЧИНІВ

А.І. Соколенко, О.Ю. Шевченко, О.І. Степанець

Національний університет харчових технологій

У статті викладено результати узагальнення і вивчення досвіду оцінки причин і рівнів впливів фізико-хімічних факторів у зв'язку з обмеженнями концентрацій синтезованого спирту в умовах анаеробного зброджування цукровмісних середовищ. До числа останніх віднесено сумарні осмотичні тиски розчинених C_2H_5OH і CO_2 , а також насиченість рідинної фракції середовищ діоксидом вуглецю. Показано, що останнє приводить до різкого підвищення опору масопередачі на межі поділу фракцій між дріжджовими клітинами і середовищем.

Порівняння цих двох факторів приводить до висновку про те, що осмотичні тиски CO_2 обмежуються розчинністю його газової фракції у співвідношенні 1:8 зі спиртом, тому пропонуються до використання технології, за яких концентрації C_2H_5OH доцільно використовувати на докритичних рівнях в межах до 6%об.

Оцінюються можливості таких обмежень за рахунок суміщення бродіння і перегонки під вакуумом, або за рахунок відбирання спирту активованим потоком CO_2 з використанням спиртовловлювачів, або продуванням середовища інертним газом з влаштуванням примусової циркуляції і конденсації парових фракцій.

Напрямок з обмеження впливів явищ насичення середовищ на CO_2 пропонується на основі перехідних процесів з десатурацією за рахунок змінних і регульованих тисків у газовій надрідинній фракції відповідно до закону Генрі.

Показано наявність впливів на рівень десорбції спирту температури середовища, а результативність процесів запропоновано здійснювати на основі вимірів концентрацій спирту в конденсаті.

Наведено інформацію щодо облаштування лабораторної установки, на якій реалізовано режими десорбції етилового спирту диспергованими потоками повітря і діоксиду вуглецю, а також теоретичні положення процесів десорбції. Доводиться перспективність досягнення докритичних режимів бродіння і схема оформлення системи для вилучення водно-спиртового конденсату з парогазового потоку $CO_2 + C_2H_5OH$.

Ключові слова: бродіння, перегонка, етиловий спирт, розчинність, десорбція, конденсація, закон Генрі.

Постановка проблеми. Попередні теоретичні узагальнення і вивчення досвіду показують наявність двох факторів впливу, які визначають обмеження анаеробного бродіння з точки зору накопичення етилового спирту. Очевидно, що це концентрації самого C_2H_5OH і CO_2 , впливи яких проявляються через осмотичні тиски в сумарній дії (принцип суперпозиції) [1—3]. Однак впливи цих двох складових нерівноважні, оскільки розчинність CO_2 обмежується

відповідно до закону Генрі. Так, концентрація спирту становить 8...10%об., що відповідає 80...100 мл/л, а масова концентрація — 64...80 г/л. Масова концентрація CO₂ може досягати 8...10 г/л. Їх співвідношення становить:

$$\frac{64...80}{8...10} \approx 8. \quad (1)$$

За значень відомих молекулярних мас C₂H₅OH та CO₂ 46/44 = 1,046 співвідношення їх максимальних осмотичних тисків складає близько 7,7 одиниці. Це означає, що головним напрямком впливу на систему є виведення з середовища C₂H₅OH. Проте останнє суперечить початковому завданню процесу бродіння [4—6], а тому потрібно вирішити цю внутрішню суперечність, наприклад, за рахунок:

- суміщення бродіння і перегонки під вакуумом [7; 8];
- відбирання спирту з активованим потоком CO₂ з використанням спиртовловлювачів [9; 10];
- продуванням середовища інертним газом з влаштуванням примусової циркуляції і конденсації.

Другий напрямок — дестабілізація системи з переведенням її до перехідних процесів за рахунок змін тисків у газовій фазі. Це дає можливість нівелювати опір масопередачі по CO₂ за показниками насичених середовищ.

Використання названих заходів щодо обмеження концентрацій спирту в розчинах на докритичних для дріжджів показниках потребує експериментальної перевірки, хоча відомий факт вилучення частини C₂H₅OH діоксидом вуглецю вказує на таку можливість [11; 12].

Мета дослідження: оцінити перспективи застосування технологій з докритичними режимами анаеробного зброджування цукровмісних середовищ.

Методи дослідження: феноменологічні узагальнення теорії десорбції етилового спирту з експериментальною оцінкою її результатів на основі термодинамічних законів і закономірностей гідродинаміки газорідних середовищ та розчинності.

Результати і обговорення. Феноменологічні міркування призводять до висновку про те, що загальний результат залежить від інтенсивності вхідного газового потоку, геометрії середовища у співвідношенні площі його перерізу і висоти, концентрації алкоголю в рідинній фракції і температури. Параметри вхідного газового потоку і площі поперечного перерізу середовища на основі розрахункової величини приведеної швидкості дають змогу моделювати середовище по гідродинамічному стану. При цьому значення має і висота середовища, вплив якої залежить від її абсолютного значення і розмірів бульбашок диспергованої газової фракції та глибини занурення диспергатора.

Установка складається (рис. 1) з моделі масообмінного апарата у формі мірного циліндра 1 місткістю 1 л, конденсатора 2, виконаного за формою усіченого конуса, з охолоджувальною водою у суміші з подрібненим льодом, збірника 3 конденсату з геометрією, що відповідає конденсатору, але доповненого отворами для пропускання сумішей газової і парових фракцій. Контактвання останніх з поверхнею конденсатора приводить до утворення рідинної фракції і збирання її в нижній частині збірника 3. Величина газового потоку, що

вводиться в середовище, контролюється ротаметром 7, а концентрація спирту в конденсаті визначається рефрактометром.

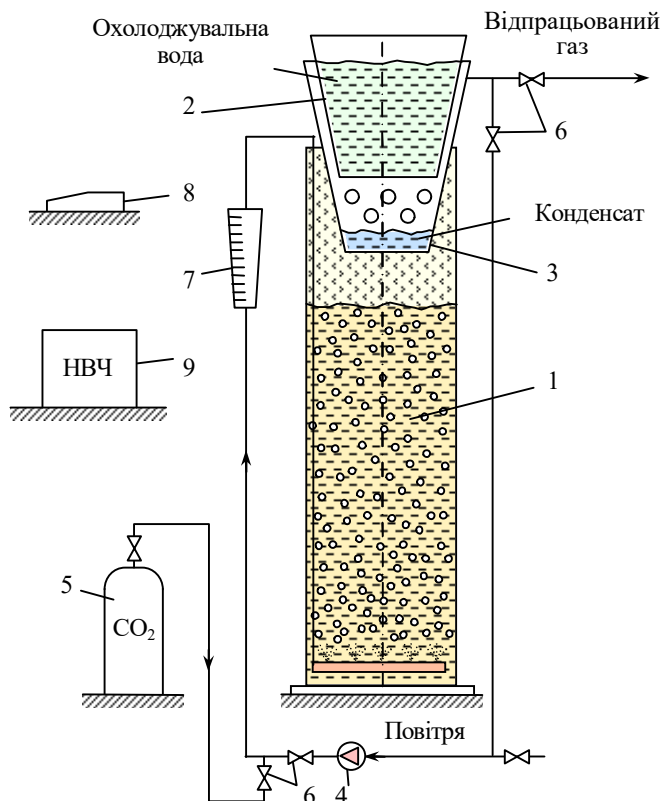


Рис. 1. Схема лабораторної установки для оцінки десорбції C_2H_5OH диспергованою газовою фракцією: 1 — модель масообмінного апарата; 2 — конденсатор; 3 — збірник конденсату; 4 — мінікомпресор; 5 — балон із CO_2 ; 6 — запірні арматури; 7 — ротаметр; 8 — рефрактометр REF 503/513; 9 — НВЧ нагрівач

Початкова концентрація C_2H_5OH задавалася в межах 6...8%об. з додатковим контролем рефрактометром.

У результаті масообміну з рідинною фракцією кожна газова бульбашка стає носієм парової фракції у складі H_2O та C_2H_5OH і з врахуванням CO_2 маємо сукупність:

діоксид вуглецю + вода + етиловий спирт

або

повітря + вода + етиловий спирт.

Пропускання таких парогазових сумішей через конденсатор приводить до конденсації H_2O і C_2H_5OH , а газова фракція в режимі циркуляції повертається в диспергатор у випадку промислового використання такої системи.

У лабораторних дослідженнях відпрацьоване повітря переходить у навколишнє середовище, а діоксид вуглецю рециркулює в системі.

Контролю підлягали концентрації спирту в середовищі і в конденсаті. У зв'язку з обмеженістю часу проведення кожного досліді зміни концентрацій у середовищі малопомітні, тоді як вимір вмісту спирту в конденсаті позбавлений цього недоліку.

Утворення парових фракцій H_2O і спирту в газових бульбашках пов'язано з відповідними енергетичними витратами, інтенсивність і спрямованість яких залежать від температури рідинної фракції. У зв'язку з цим інтенсивність вилучення спирту визначалася за змінних температур і за інших рівних умов. Запланована на кожний дослід температура досягалася в дискретному режимі за використання НВЧ-нагрівача 9.

Узагальнені результати цієї частини досліджень наведені в табл. 1 та на графіку (рис. 2) за витрат газової фракції 0,4 л/хв і концентрації спирту в рідинній фракції 6%об.

Таблиця 1. Залежність концентрації спирту (%об.) в конденсаті від температури розчину

Температура розчину, °С	20	25	30	35	40	45	50	55
Концентрація спирту, %об.	14,15	17,36	22,5	17,64	34,1	40,2	45,0	48,9

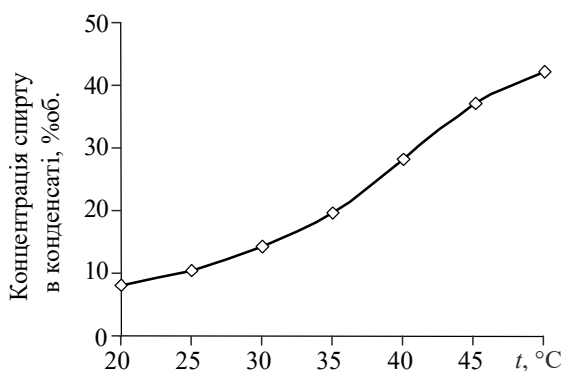


Рис. 2. Графічна інтерпретація залежності концентрації спирту в конденсаті від температури розчину

При діаметрі циліндра $d = 60$ мм значення приведеної швидкості газової фази складає:

$$w_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{max}}}{f} = \frac{0,0067 \cdot 10^{-3}}{0,002826} = 0,00237 \text{ м/с.}$$

Результати цієї частини досліджень показують, що процеси масообміну на рівні десорбції спирту з середовища відповідають принципу Ле Шательє, за яким підвищення температури і зниження тиску сприятливі для цих процесів. Вони значною мірою залежать від фізико-хімічних властивостей рідинної і газової фаз, геометричних параметрів десорбера, інтенсивності потоку диспергованої газової фази тощо.

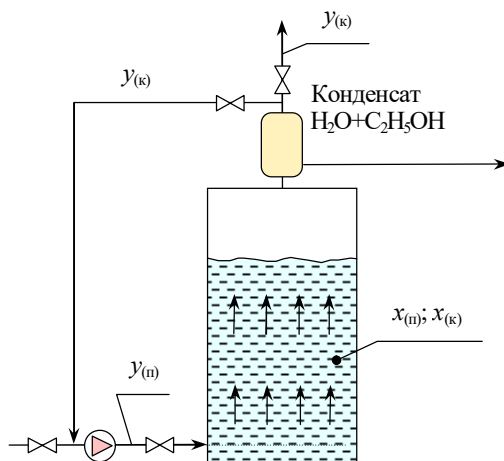


Рис. 3. Схема до визначення потоків десорбера

Дослід, у якому роль сорбенту виконана повітрям, відповідає незамкненій системі (рис. 3) з вилученням відпрацьованого повітря в довкілля. Концентрацію спирту в газовому потоці позначимо, відповідно, початкову і кінцеву — $y_{(п)}$ та $y_{(к)}$, а в рідинній фракції, відповідно, — $x_{(п)}$ та $x_{(к)}$. Тоді матеріальний баланс відобразиться залежністю:

$$M_{г.п.} (y_{(к)} - y_{(п)}) = M_{рід.} (x_{(п)} - x_{(к)}), \quad (2)$$

а необхідна величина газового потоку через середовище при $y_{(п)} = 0$ складе:

$$M_{г.п.} = M_{рід.} \frac{x_{(п)} - x_{(к)}}{y_{(к)}}, \quad (3)$$

де $M_{г.п.}$ і $M_{рід.}$ — відповідно, масові потоки газової і рідинної фракцій; для випадку, коли роль десорбера виконує безпосередньо бродильний апарат, $M_{рід.}$ і $M_{г.п.}$ — відповідно, маси рідинної та пропущеної газової фракцій.

За випадку замкнутої системи отримаємо:

$$M_{г.п.} = M_{рід.} \frac{x_{(п)} - x_{(к)}}{y_{(к)} - y_{(п)}}. \quad (4)$$

Якщо не враховувати можливих втрат спирту, то його кількість, що передається з рідинної фази в газову, складає:

$$M_{сп.} = M_{г.п.} (y_{(к)} - y_{(п)}) = M_{рід.} (x_{(п)} - x_{(к)}). \quad (5)$$

Питомі витрати газової фракції:

$$\frac{M_{г.п.}}{M_{рід.}} = m = \frac{x_{(п)} - x_{(к)}}{y_{(к)} - y_{(п)}}. \quad (6)$$

Рівняння (2) є рівнянням прямої лінії, побудованої в прямокутній системі координат Оух. На рис. 4 ця лінія позначена як відрізок АВ, кутовий коефіцієнт якого визначається рівнянням:

$$\operatorname{tg} \alpha = m = \frac{x_{(n)} - x_{(к)}}{y_{(к)} - y_{(n)}}. \quad (7)$$

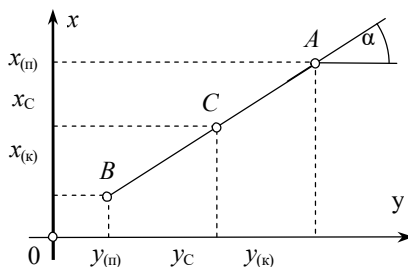


Рис. 4. Робоча лінія десорбера

Наведені залежності відповідають випадку проточного десорбера, який може бути створений як надбудова до бродильного апарата. Для випадку, коли сам бродильний апарат виконує цю роль, бажаним є створенням газового циркуляційного контуру. Внизу, у висхідній частині останнього встановлюється газорозподільний пристрій, а початкові концентрації спирту в середовищі має відповідати умова:

$$x_{(n)} \leq x_{кр}, \text{ кг/м}^3, \quad (8)$$

де $x_{кр}$ — критична концентрація спирту, визначена для умови бродіння.

Очевидно, що за таких умов величина газового потоку має відповідати масовому потоку синтезу спирту:

$$M_{г.п.} = \frac{M'_{рід.}}{y_{(к)} - y_{(n)}} \cdot \frac{dm_{C_2H_5OH}}{dt}, \quad (9)$$

де $dm_{C_2H_5OH}/dt$ — швидкість синтезу спирту в одиниці об'єму середовища, $\text{кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^3)$.

Вибір газової фракції має стосуватися інертного середовища. Для анаеробних умов це може бути діоксид вуглецю, хоча використання азоту в герметичних системах сприяло б обмеженню негативних впливів по CO_2 . Однак безперервний синтез останнього в кінцевому результаті привів би до витіснення N_2 з системи. У зв'язку з цим і з урахуванням перспектив стабілізації концентрацій спирту на докритичних умовах в промислових бродильних апаратах група наступних дослідів стосувалася оцінки можливостей десорбції етилового спирту в замкнутому контурі на основі діоксиду вуглецю. Після заповнення системи CO_2 вона герметизувалася і досліди повторювалися за попередньо зазначених температур. Узагальнені на основі статистичної обробки результати наведені в табл. 2.

Одержані результати підтверджують можливість реалізації стабілізації середовищ на докритичних рівнях концентрацій у них C_2H_5OH . При цьому інтенсивність десорбції спирту помітно залежить від температури і зростає зі збільшенням останньої.

Таблиця 2. Результати досліджень по оцінці десорбції етилового спирту діоксидом вуглецю в замкнутому циркуляційному контурі за концентрації C_2H_5OH в розчині 6% об.

Температура середовища, °C	20	25	30	35	40	45	50
Концентрація спирту в конденсаті, % об.	8,5	11	15	20,2	29	38,1	49,2

Однак збільшення температур культуральних середовищ обмежується умовами існування дріжджових культур, для яких оптимальним умовам відповідають 28...32°C. Термотолерантні дріжджі *Saccharomyces cerevisiae* раси XII-T та k-81 витримують температури 36...37°C, а дріжджі *Schizosaccharomyces pombe* 80 — до 33...34°C.

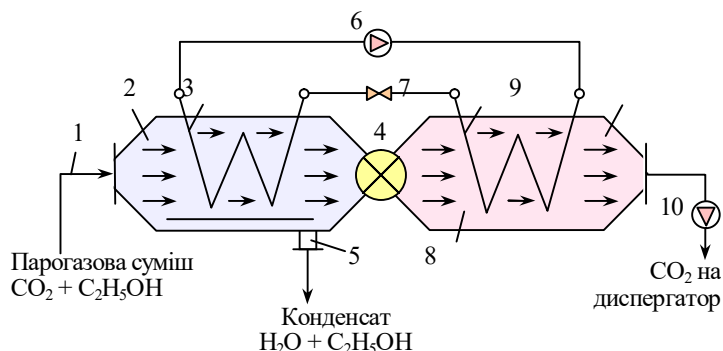


Рис. 5. Схема системи для вилучення водно-спиртового конденсату з пароговального потоку $CO_2 + C_2H_5OH$

Названі культури мікроорганізмів відносяться до осмофільних, вони стійкі до спирту і можуть накопичувати його до 12...13%, а тому для них можливо призначати критичні концентрації на рівні 7...8% об. як фактор інтенсифікації десорбції. Іншим і найменш обмеженим за величиною є фактор інтенсивності диспергованого газового потоку, який підлягає термодинамічним трансформаціям у зв'язку з необхідністю конденсації і виділення з потоку H_2O та C_2H_5OH . Охолодження пароговального потоку має здійснюватися в конденсаторі з наступним підвищенням температури в енергетичному рекуператорі. Схема такої комбінації наведена на рис. 5. Відповідно до неї потік 1 пароговальної суміші потрапляє в конденсатор 2 і в результаті взаємодії з поверхнею охолодження випарника 3 теплового насоса суміш охолоджується з виділенням конденсату H_2O і C_2H_5OH . Режим проходження потоку в конденсаторі регулюється шлюзовим затвором 4, а видалення конденсату $H_2O + C_2H_5OH$ здійснюється через регулювальний клапан 5. Парова фракція холодильного агента відсмоктується з випарника компресором 6, стискається

в адіабатному режимі з підвищенням температури і передається в конденсатор 7 рекуператора 8. Взаємодія холодного потоку CO_2 з поверхнею нагрівання конденсатора приводить до підвищення номінальної температури вихідного потоку 9 CO_2 , який компресором 10 спрямовується на диспергатор у бродильний апарат. Конденсат суміші H_2O і $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ передається на перегонку або в проміжний накопичувач. Стабілізація концентрації спирту на докритичному рівні забезпечує подальше бродіння з номінальними технологічними умовами. Числове значення концентрації спирту, що відповідає докритичному режиму, одночасно означає показник осмотичного тиску, за якого середовище знаходиться на стадії активного бродіння. Підтримання при цьому на номінальному рівні концентрації цукрів забезпечить подовження такого бродіння і підвищення продуктивності синтезу $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$. Проте наявність у середовищі сторонньої мікрофлори з пришвидшеним приростом біомаси приводить до необхідності заміни культурального середовища, а тому в стадії доброджування раціональним є перевищення показника критичної концентрації спирту до максимально можливої.

Безперервний режим десорбції спирту і стабілізація його концентрації на заданому показнику означає баланс в цьому процесі з його синтезом. Порушення такого балансу можливе як у бік зменшення, так і в бік збільшення, проте для реалізації технології анаеробного бродіння життєдіяльність дріжджів бажано підтримувати також на найвищому рівні. За таких умов система стабілізації концентрації спирту повинна забезпечувати виконання умов:

$$c_{\text{сп}(\min)} < c_{\text{сп}(i)} \leq c_{\text{сп}(\text{кр})}, \quad (10)$$

де $c_{\text{сп}(i)}$ — плинна концентрація спирту; $c_{\text{сп}(\min)}$ — мінімальна концентрація спирту, за якої стає доцільною робота системи стабілізації; $c_{\text{сп}(\text{кр})}$ — критична концентрація розчиненого спирту в середовищі.

Досягнення останньої умови можливе за рахунок керованої інтенсивності циркуляційного контуру роботи компресора 10 з регульованою продуктивністю. Це означає необхідність оснащення системи засобами контролю концентрації спирту безпосередньо в культуральному середовищі, в конденсаті та температури суміші на вході в конденсатор контролером.

Наявність диспергатора газової фракції означає можливість потужного впливу на гідродинамічний режим середовища та інтенсивність масообмінних процесів, що визначається як позитивний фактор впливу на систему. Разом з тим використання в системі діоксиду вуглецю означає, що у висхідній частині циркуляційного газорідного контуру рідинна фракція буде знаходитися в стані насичення і перенасичення на CO_2 . Це створює перепади масопередачі по CO_2 на поверхні між дріжджовими клітинами і середовищем. Для ліквідації такого ускладнення доцільним є використання змінних тисків у газовому надрідинному середовищі на рівні доповнення до цієї системи.

Висновки

Виконані теоретичні узагальнення щодо особливостей процесів анаеробного зброджування цукровмісних середовищ і експериментальна перевірка окремих положень дають змогу зазначити:

1. Можливості створення докритичних режимів анаеробного бродіння з концентраціями спирту в межах до 6%об. стосуються поєднання процесів бродіння і вакуумної перегонки.

2. Режими десорбції спирту з культуральних середовищ можуть бути реалізовані за рахунок активованих газорідинних циркуляційних контурів на основі CO₂ із застосуванням процесів конденсації пари H₂O і C₂H₅OH в спиртовловлювачах-кондесаторах.

3. Результативність десорбції спирту залежить від величин інтенсивності газових потоків, геометрії бродильних апаратів (середовищ) і значень температур.

4. Доцільним у нових технологіях бродіння є поєднання десорбції спирту з рідинної фракції і стабілізація концентрації C₂H₅OH на докритичних значеннях та десатурації середовищ.

Література

1. Динаміка перехідних процесів в системах анаеробного бродіння / Шевченко О.Ю., Соколенко А.І., Степанець О.І. та ін. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2017. Том 23, № 6. С. 68—76.

2. Анаеробне бродіння в екстремальних режимах / Соколенко А.І., Шевченко О.Ю., Степанець О.І. та ін. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2018. Том 24, № 4. С. 146—153.

3. Intensification of energy and mass exchange processes in fermentation technologies: monograph / Sokolenko A., Shevchenko O., Vasylykivskyi K. and ot. Pleven: Mediateh, 2018. P. 145.

4. Шевченко О.Ю., Соколенко А.І., Вінніченко І.М. Особливості масообмінних процесів в анаеробних газорідинних середовищах *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2018. Том 24, № 5. С. 124—134.

5. Buera P., Charle G. (1994), Water activity, glass transition and microbial stability in concentrated. *Cemimoist Food system G. Food Sci.*, 59. P. 921—927.

6. Пирог Т.П. Загальна біологія. Київ: НУХТ, 2010. 632 с.

7. Система зброджування суслу у виробництві етанолу: патент на винахід 103440 Україна: C12G 3/10 (2006.01), B01D 3/10 (2006.01), C12C 7/22 (2006.01) / Соколенко А.І., Піддубний В.А., Максименко І.Ф.; власник НУХТ. № а201212910; заявл. 13.11.2012; опубл. 10.10.2013, Бюл. № 18.

8. Бродильний апарат: патент на винахід 107407 Україна: C12F 3/08 (2006.01) / Чагайда А.О., Піддубний В.А., Соколенко А.І., Пімінова Г.А.; власник НУХТ. № а201305631; заявл. 30.04.2013; опубл. 25.12.2014, Бюл. № 24.

9. Бродильний апарат: патент на корисну модель 80311 Україна: C12F 3/08 (2006.01) / Піддубний В.А., Коваль О.В., Максименко І.Ф.; власник НУХТ. № u201212920; заявл. 13.11.2012; опубл. 27.05.2013, Бюл. № 10.

10. Бродильний апарат: патент на винахід 104401 Україна: C12F 3/08 (2006.01), C12M 1/00 / Криворотько В.М., Соколенко А.І., Максименко І.Ф., Бойко О.О.; власник НУХТ. № а201305632; заявл. 30.04.2013; опубл. 27.01.2014, Бюл. № 2.

11. Шиян П.Л., Сосницький В.В., Олійнічук С.Т. Інноваційні технології спиртової промисловості. Теорія і практика: монографія. Київ: ВД «Асканія», 2009. 424 с.

12. Технологія спирту: підручник / В.О. Маринченко, В.А. Домарецький, П.Л. Шиян та ін. Вінниця: «Поділля-2000», 2003. 496 с.

RESEARCH OF STRUCTURAL CHARACTERISTICS AND KINETICS OF DRYING PROCESS RAW MATERIAL IN VIBRATION VACUUM DRYER

A. Sardarov, O. Mayak, G. Shershnev

Kharkiv State University of Food Technology and Trade

Key words:

*Drying mode
Concentrated products
Vibration dryers
Vegetable pomace
Vegetable raw materials*

Article history:

Received 13.11.2018
Received in revised form
06.12.2018
Accepted 21.12.2018

Corresponding author:

A. Sardarov
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

In the work the process of drying vegetable raw materials, namely, vegetable excrements of carrots, beets and greenery — parsley, is investigated. Drying experiments were carried out in the newly developed design of a continuous vibration vacuum dryer with a damping device, which allows to reduce the consumption of electric energy by reducing the load on the central shaft with perforated trays, such constructive solution significantly increases life of the working units of the machine. The kinetics of moisture content of vegetable excrements and greens was investigated, dependence of the duration of the process on main technological parameters of the vibration vacuum dryer, namely amplitude and frequency, was determined.

The study of qualitative indices of the obtained concentrated products, namely, the structural characteristics of dried vegetable cultivars, was conducted. Based on the results of the study, it was found that the use of vibration during drying of the exhaust fumes contributes to the preservation and formation of the statutory characteristics (swelling, solubility and recovery) of the dried product. The specified characteristics made it possible to establish that during heat treatment it is very important to reduce drying time and temperature. These studies have proven the perspective of producing dried carrot and beet harvested in the proposed way. It allows to regulate qualitative indicators of the final product: color, brightness, consistency, viscosity, physical and chemical properties. This product can be used in a wide range of food industries, for example: as an additive to juice, as a candy mass filler, as a filling for confectionery products, as a biological additive to healthy food.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК І КІНЕТИКИ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ У ВІБРАЦІЙНІЙ ВАКУУМНІЙ СУШАРЦІ

А.М. Сардаров, О.А. Маяк, Г.Г. Шершньов

Харківський державний університет харчування та торгівлі

У статті досліджено процес сушіння рослинної сировини, а саме: овочевих вичавок з моркви, буряку та зелені петрушки. Експерименти проводили в розробленій новій конструкції вібраційної вакуумної сушарки безперервної дії з амортизаційним пристроєм, який дає змогу зменшити витрати електричної енергії за рахунок зменшення навантаження на центральний вал з перфорованими лотками. Таке конструктивне рішення суттєво збільшує термін роботи робочих вузлів апарата. Досліджено кінетику зміни вологовмісту овочевих вичавок і зелені, визначено залежність тривалості процесу від основних технологічних параметрів роботи вібраційної вакуумної сушарки — амплітуди та частоти.

Проведено дослідження якісних показників отриманих концентрованих продуктів, зокрема структурних характеристик висушених овочевих вичавок. На підставі отриманих результатів встановлено, що застосування вібрації в процесі сушіння вичавок сприяє збереженню та формуванню структурних характеристик (набухання, розчинність і відновлення) сушеного продукту. Визначені характеристики дали змогу встановити, що під час теплової обробки дуже важливо зменшити тривалість процесу сушіння й температуру. Дані дослідження довели перспективність виробництва сушених вичавок з моркви та буряку запропонованим способом. Це дає змогу регулювати якісні показники кінцевого продукту: колір, яскравість, консистенцію, в'язкість і фізико-хімічні властивості. Розроблений продукт можна використовувати в широкому спектрі харчової галузі (добавка в сік, наповнювач цукеркової маси, начинка для кондитерських виробів, біологічна добавка до оздоровчого харчування, пряно-ароматичний продукт).

Ключові слова: режим сушіння, концентровані продукти, вібраційні сушарки, овочеві вичавки, сушена зелень.

Постановка проблеми. Сушіння — енергоємний процес, що потребує понад 20% енергії, яка використовується харчовою промисловістю. Енергетична ефективність процесу та якість готового продукту є двома ключовими факторами в сушінні продуктів харчування. Питання енергоспоживання та попит на якісне сухе харчування, яке має тривалий термін зберігання, ще більше спонукають вчених розробляти нові технології виробництва продуктів харчування [1].

Слід зазначити, що вирішення питань розробки нових технологій нерозривно пов'язане з удосконаленням апаратного оформлення та створенням нових апаратів, в яких досягається значна інтенсифікація процесу тепло- та масообміну [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У [3] вивчено вплив режимів сушіння на червоний буряк з точки зору бетаїнової дисперсії та поліфенолу, зміни мікроструктури. Процес супроводжувався застосуванням комбінованих методів сушіння (конвекцією і СВЧ сушінням), призводить до кращого збереження вмісту біоактивних сполук. Результати показали, що комбіновані методи сушіння призвели до суттєвого збереження фітохімічного вмісту порівняно з традиційними методами.

У [4] представлені результати експериментальних досліджень, на підставі яких встановлені оптимальні параметри сушіння та розроблені ступеневі режими зневоднення, які гарантують високий ступінь збереження пектинових і біологічних речовин.

У [5] визначено кінетику вакуумного сушіння. Результати показали, що сушіння при температурі 70°C сприяє зменшенню тривалості сушіння, а також збереженню якості готового продукту.

У [6] розроблено системний підхід для вибору оптимальних параметрів сушіння. Цей підхід може забезпечити прості вказівки для вибору робочих параметрів вібраційних сушарок для сушіння рослинної сировини.

У [7] проведені дослідження параметрів якості, пов'язані з зміною кольору внаслідок часу і температури зберігання. Важливість параметрів якості для зміни кольору оцінювалася відносно один одного: реакція деградації цукрів та реакції деструкції аскорбінової кислоти виявилася важливою для зміни кольору готового продукту під час зберігання. Але залишилися невирішенні питання залежності якісних показників готового продукту від основних параметрів обробки сировини.

У [8] розроблена нова методика сушіння, в основі якої комбінація ультразвукового та дегідратаційного вакууму. Це скорочує час висихання й підвищує якість скибочок моркви. Моркву сушили за допомогою ультразвукового вакууму та вакуумної сушки при 65°C та 75°C. На швидкість процесу суттєво вплинули техніка і температури сушіння, але використання комбінованих методик ускладнюють проведення процесу та сприяють збільшенню витрат на виробництво.

Вібраційні сушарки широко застосовуються для сушіння сировини або готової продукції завдяки перевагам при перемішуванні та швидкості перебігу тепло- і масообмінних процесів [9]. Експериментальні дослідження проводились на сушарці з фторопластом у лабораторних умовах. Вміст вологості в процесі сушіння вимірювали, використовуючи відібрані частинки як еталон. Виявлено, що застосування вібрації при сушінні сировини впливає на зміну вологості, але раціональні робочі параметри обробки та їх кореляція з показниками якості не наведені, що не дає змогу прогнозувати властивості готового продукту.

Все це дає підстави стверджувати, що доцільним є проведення досліджень впливу робочих параметрів сушіння на якісні характеристики сушених продуктів і встановлення взаємозв'язку між обраними режимами та показниками якості. Для переробки сировини було обрано устаткування з використанням вакуумної технології, яка дає змогу суттєво знизити температуру кипіння в робочій камері (до 45°C), що забезпечує збереження термолабільної речовини

і, як наслідок, підвищення якості та харчової цінності отриманих продуктів. Крім того, для інтенсифікації процесу зневоднення запропоновано використовувати низькочастотні коливання. Одним із критеріїв якості сушених продуктів є ступінь набухання, розчинності та відновлюваності, тому дослідження мають будуть спрямовані в цьому напрямі.

Метою статті є дослідження впливу технологічних параметрів процесу сушіння на тривалість процесу та якісні характеристики висушеного продукту (набухлість, розчинність і відновлюваність).

Для досягнення мети потрібно вирішити такі завдання:

- проаналізувати способи й технологічні аспекти виробництва сушених напівфабрикатів із рослинної сировини, визначити напрямки удосконалення процесів та апаратів, що використовуються для реалізації процесу сушіння;
- розробити вібраційну вакуумну сушарку з амортизаційною пружиною безперервної дії для сушіння рослинної сировини;
- дослідити вплив технологічних параметрів (амплітуди та частоти) процесу сушіння на тривалість процесу та на якісні характеристики сушених продуктів (набухлість, розчинність і відновлюваність).

Матеріали і методи. Для забезпечення постійного безперервного сушіння, а також для підвищення якості готових продуктів була розроблена вібраційна вакуумна сушарка безперервної дії з амортизаційною пружиною (рис. 1).

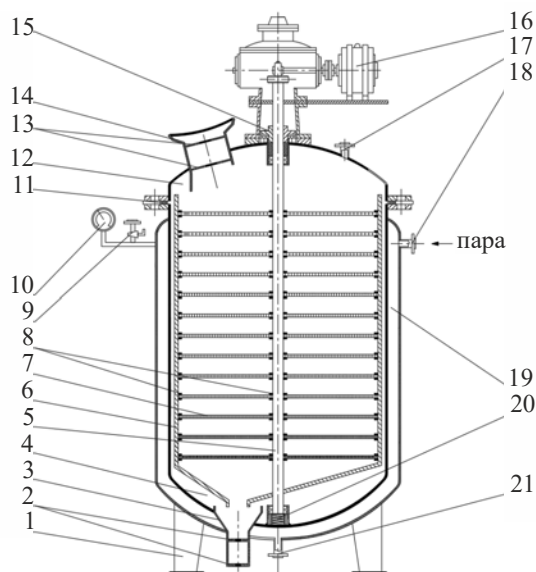


Рис. 1. Вібраційна вакуумна сушарка безперервної дії для сушіння овочевої сировини: 1 — опори; 2 — запірний клапан; 3 — горловина; 4 — робоча камера; 5 — робочий вал; 6 — каркас для лотків; 7 — лотки з отворами змінного перетину; 8 — суцільне зварне з'єднання; 9 — клапан для видалення надлишкового тиску; 10 — манометр; 11 — затискач; 12 — кришка апарату; 13 — дозуючий клапан; 14 — завантажувальний бункер; 15 — ущільнювач; 16 — вібратор; 17 — трубопровід системи вакуумування; 18 — патрубок для подачі теплоносія; 19 — парова оболонка; 20 — патрубок для відведення конденсату; 21 — амортизаційна пружина

Реалізація сушіння в апараті здійснюється таким чином: вичавки з моркви із завантажувального бункера дозуються клапаном на лотки з отворами змінного перетину, які закріплені в корпусі для лотків та приєднанні суцільним зварним з'єднанням до робочого вала. Робочий вал під'єднується до вібратора, що створює механічні коливання, а знизу закріплений в амортизаційній пружині, яка дає змогу зменшити витрати електричної енергії за рахунок зменшення навантаження на центральний вал з перфорованими лотками. Таке конструктивне рішення суттєво збільшує термін експлуатації робочих вузлів апарата. Нагрівання робочої камери здійснюється за допомогою подачі пари в парову оболонку через патрубок та вимірюється манометром, а надлишковий пар виводиться клапаном. Вивантажування висушеного продукту здійснюється за допомогою запірного клапана, через горловину, тому що сушарка працює в безперервному режимі, а продукт покидає апарат періодично, а саме накопичується до зазначеної маси, після чого спрацьовує запірний клапан. Такий принцип дає змогу зберегти вакуум в апараті. Робоча вакуум камера герметизується металевими ущільнювачами та затискачами, що фіксують кришку апарата.

Одними з показників якості, що визначають споживчі та технологічні властивості сушеної продукції, є ступінь її розчинності та ступінь набухання в змочувальній рідині. Ступенем набухання називають відношення маси вологого продукту m_b (після набухання протягом часу τ) до початкової маси сухого продукту m_c . Визначається за формулою:

$$Q = \frac{m_b}{m_c} \cdot 100\% . \quad (1)$$

Ступінь розчинності зразків визначався за формулою:

$$D = \frac{m_p}{m_n} \cdot 100\% = \frac{m_c - m_n}{m_n} \cdot 100\% , \quad (2)$$

де m_p — маса розчинної за час τ частини зразка, кг; m_n — маса нерозчинної за час τ частини зразка, кг.

Ступені розчинності та набухання визначались для овочевих вичавок, висушених в експериментальній вібраційній вакуумній сушарці за умов різних режимів обробки сировини, а саме: зі зміною амплітуди (A , м) та частоти (ν , Гц). Визначена кількість сировини (m_c) заливалась визначеною кількістю води і витримувалась протягом $\tau = 15$ хв. Після цього воду зливали та визначали масу вологого продукту (m_b). Вологий зразок поміщали в сушильну шафу, висушували та визначали його масу. Отримана маса являє собою масу нерозчинної за час τ частини продукту (m_n). Маса розчинної за час τ частини зразка визначалась як різниця між початковою масою (m_c) та масою нерозчинної за час τ частини зразка (m_n).

Викладення основних результатів дослідження. З метою визначення впливу основних технологічних параметрів сушіння, амплітуди, частоти ко-

ливань і вакууму в апараті на швидкість перебігу процесу були проведені експерименти з сушіння рослинної сировини та визначення вологовмісту в сушених продуктах.

Результати експериментальних досліджень кінетики сушіння рослинної сировини залежно від параметрів сушіння наведені на рис. 2—4. Експерименти проводили за умов різних технологічних параметрів сушіння, які вказані в табл. 1.

Таблиця 1. Режими сушіння овочевих вичавок

Найменування	Амплітуда, м	Частота, Гц	Тиск, МПа
Режим 1	0	0	0,09
Режим 2	0,005	6	0,09
Режим 3	0,005	8	0,09

На рис. 2 представлені результати експерименту кінетики сушіння вичавок з моркви за умов різних параметрів сушіння. Так, процес сушіння вичавок при режимі 3 триває 82 хв, а при режимі 2 — 96 хв, тривалість процесу сушіння при режимі 1 проходить 118 хв, що на 45% більше, ніж при режимі 3.

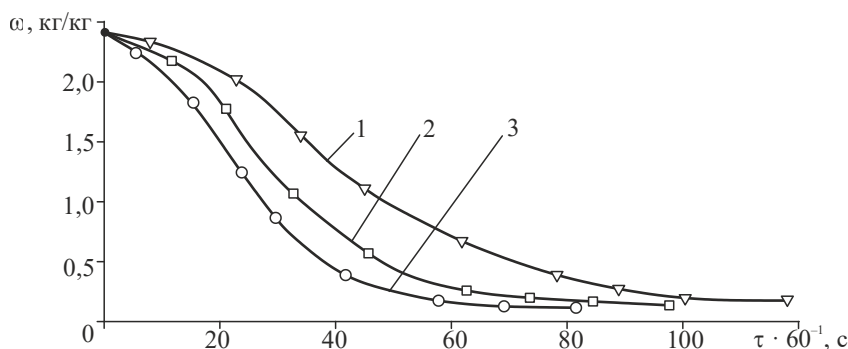


Рис. 2. Кінетика сушіння вичавок з моркви: 1 — режим 1; 2 — режим 2; 3 — режим 3

На рис. 3 представлені результати експерименту кінетики сушіння вичавок з буряку за умов різних параметрів сушіння.

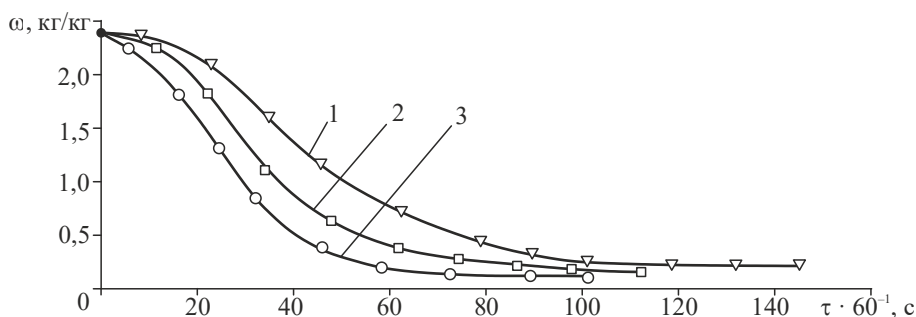


Рис. 3. Кінетика сушіння вичавок з буряку: 1 — режим 1; 2 — режим 2; 3 — режим 3

Так, сушіння вичавок при режимі 3 триває 104 хв, при режимі 2 — 112 хв. Тривалість процесу сушіння при режимі 1 проходить 146 хв, що на 40% більше, ніж при режимі 3.

На рис. 4 представлені результати експерименту кінетики сушіння петрушки за умов різних параметрів сушіння.

Так, сушіння петрушки при режимі 3 триває 76 хв, при режимі 2 — 88 хв. Тривалість проходження процесу сушіння при режимі 1 проходить 108 хв, що на 42% більше ніж при режимі 3.

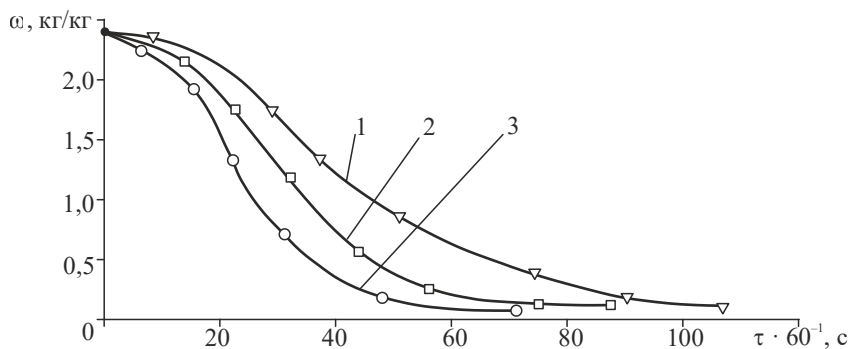


Рис. 4. Кінетика сушіння петрушки: 1 — режим 1; 2 — режим 2; 3 — режим 3

Проведені дослідження дали змогу підтвердити ефективність використання вібрації в процесах сушіння рослинної сировини.

Також слід зазначити, що вичавки з буряку за однакових параметрів процесу сушаться на 26% довше, що характеризується фізико-хімічним складом сировини, а саме: вмістом у буряку пектину, що впливає на процес та з'являє вологу в продукті.

Результати експериментальних досліджень ступеня набухання та розчинності овочевих вичавок після процесу сушіння у вібраційній вакуумній сушарці безперервної дії при різних параметрах сушіння представлені в табл. 2.

Таблиця 2. Динаміка набухання та розчинності вичавок з овочевої сировини залежно від режимів сушіння

Дослідження	Буряк			Морква		
	Режим 1	Режим 2	Режим 3	Режим 1	Режим 2	Режим 3
Ступінь набухання $Q \pm 0,01$, %	9,8	17,4	22,3	14,6	19,9	24,2
Ступінь розчинності $D \pm 0,01$, %	0,11	0,47	0,61	0,54	0,54	0,64

Однією з основних якісних характеристик оброблених вичавок є ступінь розчинності, показник якого характеризує наявність у зразках продукту активних корисних компонентів, які, незважаючи на термін обробки в процесі сушіння, збереглися.

На рис. 5 та 6 представлені графіки кінетики процесу відновлення морквяних і бурякових вичавок відповідно.

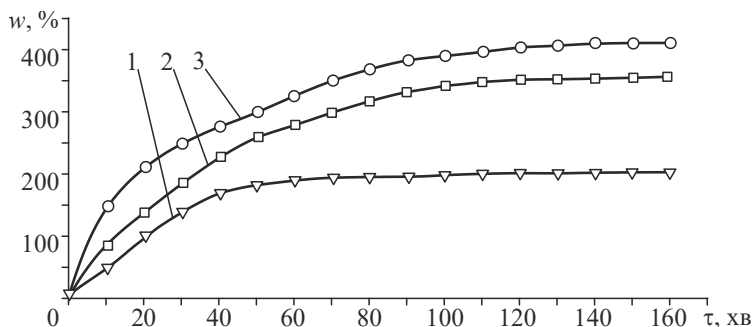


Рис. 5. Кінетика процесу відновлення морквяних вичавок:

1 — режим 1; 2 — режим 2; 3 — режим 3

За результатами дослідження кінцевий вологовміст зразків згідно з кривою 3 та кривою 2 відрізняється від кривої 1 в два рази, що зумовлено пористістю структури вичавок, але, як видно з представлених графіків кінетики процесу набухання, криві за умов вібрації (2 та 3) мають однаковий характер.

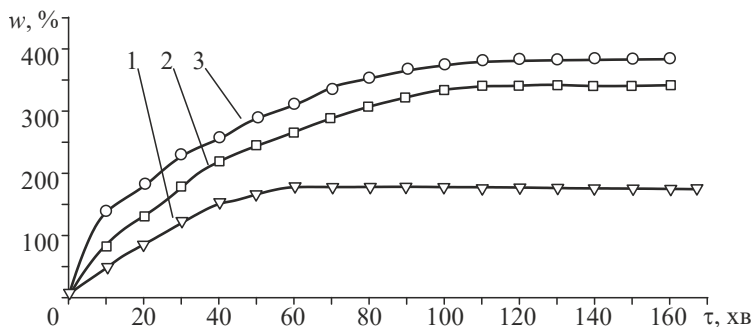


Рис. 6. Кінетика процесу відновлення вичавок з буряку:

1 — режим 1; 2 — режим 2; 3 — режим 3

Експериментальні дослідження довели перевагу методів обробки сировини під впливом вібрації, що визначило вибір параметрів процесу, а саме: режиму 3 ($A = 0,005$ м, $\nu = 8$ Гц).

У результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень було доведено, що параметри сушіння суттєво впливають на тривалість процесу та якісні показники отриманих сушених продуктів.

Згідно з результатами дослідження кінетики процесу відновлення сушених вичавок кінцевий вологовміст зразків, висушених під дією вібрації, відрізняється від зразків, висушених без вібрації майже на 100%, що зумовлено пористістю структури сушених вичавок, зневоднених під дією вібрації.

Теоретично встановлений і експериментально підтверджений оптимальний режим вібрації для вібраційно-вакуумного сушіння при вакуумі в робочій камері 0,09 МПа: амплітуда вібрації — $A = 0,005$ м, частота вібрації — $\nu = 8$ Гц. При цьому тривалість сушіння становить 82 хв, 104 хв та 76 хв для вичавок з моркви, буряку та петрушки відповідно (за результатом кінцевого вологовмісту).

Висновки

На підставі проведених досліджень впливу основних технологічних параметрів сушіння на якість сушеної рослинної сировини (вичавок з моркви та буряку, петрушки):

1. Визначено способи й технологічні аспекти виробництва сушених напів-фабрикатів із рослинної сировини, напрямки удосконалення процесів та апаратів, що використовуються для реалізації процесу сушіння.

2. Розроблено конструкцію вібраційної вакуумної сушарки безперервної дії з амортизаційною пружиною, яка дає змогу зменшити витрати електричної енергії за рахунок зменшення навантаження на робочий вал з перфорованими лотками та досліджено вплив робочих параметрів (амплітуда та частота) сушарки на кінетику сушіння рослинної сировини.

3. Досліджено вплив технологічних параметрів (амплітуди та частоти) процесу сушіння на тривалість процесу та на якісні характеристики сушених продуктів (набухання, розчинність і відновлюваність). Результати дослідження зміни вологовмісту з плином часу за умов різних режимів сушіння рослинної сировини доводять ефективність застосування вібрації при реалізації процесу. Експериментальні дослідження відновлюваності овочевих вичавок довели перевагу обробки сировини під впливом вібрації, що підтвердило вибір параметрів процесу (амплітуда — $A = 0,005$ м, а частота $\nu = 8$ Гц).

Отже, запропонований спосіб сушіння рослинної сировини в розробленій сушарці дає змогу суттєво підвищити якість отриманих сушених продуктів і використовувати їх як збагачувачі кулінарної, хлібопекарної, кондитерської продукції та для оздоровчого харчування.

Література

1. Kiptelaya L., Zagorulko A., Zagorulko A. Improvement of equipment for manufacture of vegetable convenience foods. *Eastern-european journal of Enterprise Technologies*. 2015. Vol. 2, No 10(74). P. 4—8.
2. Potapov V., Plevako, V., Kostenko, S., Pedorich, I., Arkhipova, V. “Physical and Analytical Modeling of Infrared Frying in ARJM-0.07-1 Apparatus”. *Industrial Technology and Engineering*. 2016. Vol. 3(20), P. 54—61.
3. Nistor O., Seremet L., Andronoiu D., Rudi L., Botez E. Influence of different drying methods on the physicochemical properties of red beetroot (*Beta vulgaris* L. var. *Cylindra*). *Food Chemistry*. 2017. Vol. 236/1. P. 59—67.
4. Снежкин Ю.Ф., Шапарь Р.А. Особенности процесса сушки пектиносодержащих материалов. *Промышленная теплотехника* 2006. № 28/3. С. 25—27.
5. Demarchi S., Irigoyen R., Giner S. Vacuum drying of rosehip leathers: Modelling of coupled moisture content and temperature curves as a function of time with simultaneous time-varying ascorbic acid retention. *Journal of Food Engineering*. 2018. Vol. 233. P. 9—16.
6. Bizmark N., Mostoufi N., Sotudeh-Gharebagh R., Ehsani H. (). Sequential modeling of fluidized bed paddy dryer. *Journal of Food Engineering*. 2010. Vol. 101/3. P. 303—308.
7. Quality changes of pasteurised orange juice during storage: A kinetic study of specific parameters and their relation to colour instability / S. Wibowo, T. Grauwet, J.S. Santiago, J. Tomic, L. Vervoort, M. Hendrickx, A. Van Loey. *Food Chemistry*. 2015. Vol. 187. P. 140—151. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.03.131>.
8. Chen Z., Guo X., Tao Wu A novel dehydration technique for carrot slices implementing ultrasound and vacuum drying methods, *Ultrasonics Sonochemistry*. 2016. Vol. 30. P. 28—34.
9. Pla, R. Kamyar D., Hashemian N., Mehdizadeh H., Moshgbar M. Moisture soft sensor for batch fluid bed dryers: A practical approach. *Powder Technology*. 2018. Vol. 326/15. P. 69—77.

УДК: 621.798.3:004.4 (043.3)

RECUPERATION OF ENERGY IN THE PNEUMATIC DRIVE OF THE FUNCTIONAL MECHATRONIC MODULE OF ACCUMULATION OF LAYER OF CARGO

M. Iakymchuk, O. Gavva, L. Kryvoplias-Volodina, V. Yakymchuk

National University of Food Technologies

Key words:

Palletizer

Mechatronic module

Accumulator

Recuperation

Energy

Pneumatic drive unit

Load

Article history:

Received 14.11.2018

Received in revised form

29.11.2018

Accepted 13.12.2018

Corresponding author:

M. Iakymchuk

E-mail:

mykolaiaiakymchuk.2016@gmail.com

ABSTRACT

Modern models of palletizer are made on the basis of functional mechatronic modules. The largest energy consumption in the modules for the accumulation of cargo layers is observed on a mobile platform. As drive units of such platforms electric motors, hydropneumatic cylinders can be used. The methods of energy recovery in electric and hydraulic drive units are known. But there is no information about the use of pneumatic accumulators for energy recovery in pneumatic drive units of mechatronic modules of step-by-step accumulation of cargo layers.

The purpose of the work is to develop a scheme and methods for calculation of pneumatic accumulators for energy recovery in pneumatic drive units of mechatronic modules of step-by-step accumulation of cargo layers on palletizer's moving platform.

The concept of the use of pneumatic accumulators for energy recovery in pneumatic drive units of functional mechatronic modules of step-by-step accumulation of layers of cargo of palletizers is substantiated.

The method for design of pneumatic accumulators for energy recovery in pneumatic drive units of functional mechatronic modules of step-by-step accumulation of cargo layers has been proposed based on the developed mathematical models. Various new schemes for load platforms of the module with energy recuperators on the basis of pneumatic accumulators have been proposed.

The results of the research are recommended for development of new effective palletizer's types.

DOI: 10.24263/2225-2924-2018-24-6-16

РЕКУПЕРАЦІЯ ЕНЕРГІЇ В ПНЕВМАТИЧНОМУ ПРИВОДІ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ НАКОПИЧЕННЯ ШАРІВ ВАНТАЖІВ

М.В. Якимчук, О.М. Гавва, Л.О. Кривопляс-Володіна, В.М. Якимчук

Національний університет харчових технологій

Сучасні зразки обладнання для формування транспортних пакетів виготовляються на основі функціональних мехатронних модулів. Найбільші енер-

говитрати у модулях накопичення шарів вантажів на рухомій платформі. Приводами таких платформ можуть бути електродвигуни, гідроневмоциліндри. Відомі методики рекуперації енергії в електро- та гідроприводах. Поряд із цим відсутня інформація щодо використання пневматичних акумуляторів для рекуперації енергії в пневматичних приводах мехатронних модулів покрокового накопичення шарів вантажів.

Метою дослідження є розроблення схеми та методики розрахунку пневматичних акумуляторів для рекуперації енергії в пневматичних приводах мехатронних модулів покрокового накопичення шарів вантажів на рухомій платформі пакетоформувальної машини.

Обґрунтовано концепцію використання пневматичних акумуляторів для рекуперації енергії в пневматичних приводах функціональних мехатронних модулів покрокового накопичення шарів вантажів пакетоформувальних машин.

На основі розроблених математичних моделей створено методику проектування пневматичних акумуляторів для рекуперації енергії в пневматичних приводах функціональних мехатронних модулів покрокового накопичення шарів вантажів, а також запропоновано нові схемні рішення вантажних платформ модуля з рекуператорами енергії на базі пневматичних акумуляторів.

Результати досліджень можна рекомендувати для впровадження при проектуванні нових ефективних зразків пакетоформувальних машин.

Ключові слова: пакетоформувальна машина, мехатронний модуль, акумулятор, рекуперація, енергія, пневмопривід, вантаж.

Постановка проблеми. Розробка енергоощадливих технологій і машин є одним із пріоритетних напрямків розвитку пакувальної індустрії на найближче десятиліття. З огляду на обсяги пакетних перевезень, які обчислюються сотнями мільярдів тонн на рік, можна стверджувати, що процес формування транспортних пакетів є масовим, а його автоматизація — актуальним завданням сьогодення.

Поява нових пакувальних матеріалів, продуктів харчування, логістичних схем призвели до суттєвого розширення форм і розмірів тари й упаковки, наявності додаткових функціональних елементів. Така тенденція суттєво вплинула на функціональні вимоги до сучасних конструкцій пакеформувальних машин — швидке переналагодження на інші розміри тарного вантажу або пакета, малі енерговитрати та невелику собівартість.

Реалізувати такі вимоги можна шляхом створення нових конструкцій пакетоформувальних машин. Важливим завданням при цьому є розроблення функціональних мехатронних модулів накопичення шарів вантажів з пневматичним приводом з функцією збереження енергії під час процесу формування транспортного пакета шляхом її рекуперації та подальшим використанням для роботи інших мехатронних модулів пакетоформувальної машини.

Конструктивне виконання пакетоформувальних машин (ПФМ) відрізняється великою різноманітністю та залежить від особливостей технологічного процесу, властивостей і габаритних розмірів вантажів. Нове покоління ПФМ будується на основі функціональних мехатронних модулів.

Використання вантажних платформ для вертикального переміщення вантажів у комплексах для пакетування тарних вантажів можливе при застосуванні будь-якого типу ПФМ.

Доведено [1], що рекуператорами енергії в конструкції функціонального мехатронного модуля покрокового накопичення шарів тарних вантажів можна підвищити енергетичну ефективність як самого модуля, так і всього пакеформувального комплексу загалом. Приводами таких модулів можуть бути електродвигуни, гідро- та пневмоциліндри, інколи пружинні комплекси. У разі застосування пневмоциліндрів як приводу у більшості вітчизняних і закордонних конструкцій ПФМ спостерігається використання пружинно-пневматичних акумуляторів енергії, які працюють за таким принципом рекуперації енергії у вантажних платформах мехатронного модуля:

- переміщення платформи з вихідного верхнього положення в нижнє здійснюється за рахунок потенціальної енергії вантажів, накопиченої ними при здійсненні технологічного процесу;

- потенціальна енергія вантажів запасється в пружинно-пневматичному акумуляторі енергії;

- збережена в акумуляторі енергія використовується для повернення порожньої платформи в початкове положення;

- залишкова потенціальна енергія у вигляді стисненого повітря передається в пневмосистему для повторного використання.

Встановлено, що використання пружинно-пневматичних акумуляторів енергії для вантажних платформ неминуче призводить до виникнення коливальних процесів у механічній системі, які суттєво впливають на точність позиціонування платформи та продуктивність ПФМ.

Для ліквідації цього недоліку запропоновано використовувати функціональні мехатронні модулі покрокового накопичення шарів вантажів із пневматичним приводом, що мають пневматичний рекуператор енергії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням, пов'язаним з розвитком і проектуванням мехатронних модулів машин пакетування тарних вантажів, останнім часом приділяється велика увага [1]. Спостерігається тенденція взаємозв'язку між сучасними технологічними процесами пакування та мехатронними модулями як невід'ємною складовою розвитку автоматизованих і роботизованих ліній пакетування [2; 3]. Так, у [4; 5] наведені конструкції пакеформувальних машин та методики розрахунків і підбору робочих органів функціональних модулів. В особливу групу можна об'єднати праці, у яких наведені методики дослідження витрат енергії на процеси пакетування [6; 7]. Можливість застосування пружинного акумулятора в засобах вантажоперероблення досліджено у [8], де зазначено, що основною перевагою пружинного акумулятора є простота конструкції та висока ефективність роботи модуля покрокового накопичення тарних вантажів. Однак у наведених працях відсутня інформація щодо використання пневматичних акумуляторів та їх застосування для рекуперації енергії в пневматичних приводах функціональних мехатронних модулів покрокового накопичення шарів вантажів.

Мета дослідження: розробити ефективну методику розрахунку та проектування пневматичних акумуляторів для рекуперації енергії в пневматичних

приводах функціональних мехатронних модулів покрокового накопичення шарів вантажів пакетоформувальних машин.

Викладення основних результатів дослідження. На рис. 1 наведена схема запропонованого мехатронного модуля покрокового накопичення шарів вантажів із пневматичним приводом і рекуператором енергії на базі пневматичного акумулятора. Вантажна платформа 1 з'єднана зі штоком пневматичного циліндра 2 і переміщається у вертикальному напрямку по напрямній 3. На пневматичному циліндрі 1 встановлено датчики положення 4 і 5, один з яких (4) контролює верхнє положення поршня пневмоциліндра, а інший (5) — нижнє положення поршня пневмоциліндра. На пневмоциліндрі 1 встановлений фіксатор 6, який з'єднаний з виходом ресивера 7 через пневморозподільник 8. Ресивер 7 з'єднаний з пневмосистемою живлення. Безштокова порожнина пневмоциліндра 1 з'єднана з розподільниками 9.1, 9.2, які так само послідовно з'єднані з балонами 10.1, 10.2, розподільниками 11.1, 11.2 і ресивером 7.

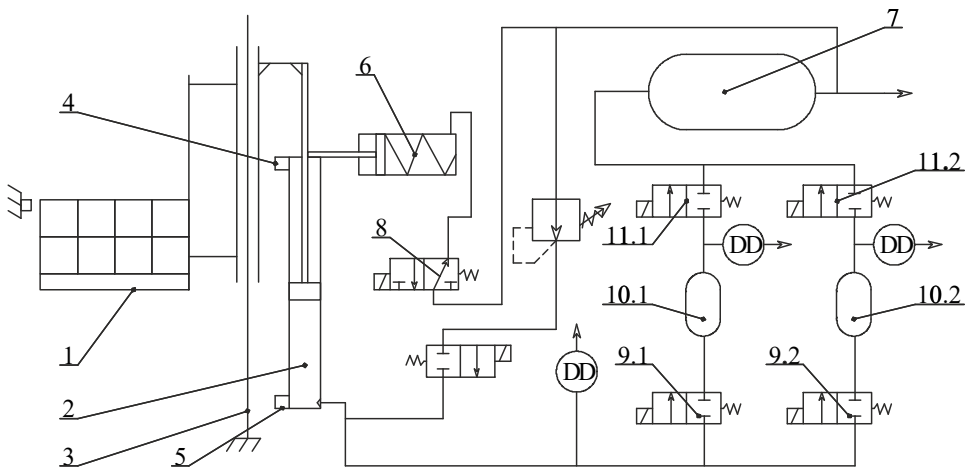


Рис. 1. Схема мехатронного модуля покрокового накопичення шарів вантажів із пневматичним приводом і рекуператором енергії на базі пневматичного акумулятора

Робота платформи здійснюється таким чином: у початковий момент часу порожня платформа піднята на максимальну висоту, фіксатор 6 утримує шток пневматичного циліндра 2. Розподільники 9.1, 9.2 і 13 знаходяться в закритому положенні. При такій конфігурації системи відбувається укладання перших трьох шарів вантажів. Після закінчення укладання першого шару вантажів пневматичний циліндр знімається з фіксатора і платформа під дією сили тяжіння вантажів переміщається до низу. У цей момент, коли платформа переміщається до низу на відстань, рівну висоті одного шару вантажів, у систему управління надходить сигнал із датчика 12 і фіксатор 6 знову зупиняє платформу. Укладання другого і третього шарів вантажів здійснюється таким же чином. При укладанні четвертого шару відкривається розподільник 9.1 і до пневмосистеми підключається додатковий балон 10.1. Завдяки

підключенню цього балона при опусканні платформи, вона отримує додаткове переміщення, яке дає можливість привести залежність переміщення платформи від маси вантажів на ній до лінійної. При укладанні п'ятого шару вантажів розподільник 9.2 переходить у відкритий стан і до пневмосистеми підключається додатковий балон 10.2. Підключення цього балона також дає можливість забезпечити лінійну характеристику системи. Укладання шостого шару вантажів здійснюється без переміщення платформи. При цьому розподільники 9.1 і 9.2 переходять у закритий стан, а розподільники 11.1 і 11.2 — у відкритий стан, тобто балони з'єднуються з ресивером 7. Після вирівнювання тиску в ресивері 7 та балонах 10.1 і 10.2, вони відключаються від ресивера. Паралельно з процесом перемикання балонів відбувається зняття сформованого транспортного пакета з платформи, зафіксованої в нижньому положенні.

На рис. 2 наведена спрощена схема платформи з вантажами на першому етапі роботи системи. Платформа 1 з'єднана зі штоком пневмоциліндра 2, до якого на певних етапах переміщення платформи можуть бути послідовно підключені балони 3. На платформу укладаються шари вантажів.

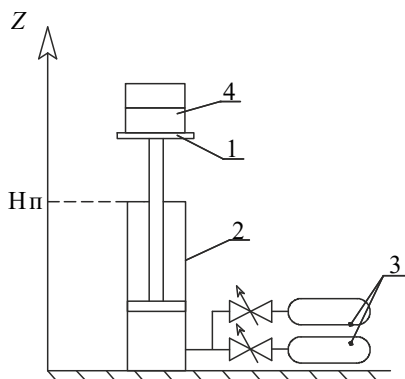


Рис. 2. Розрахункова схема пневмоциліндра з послідовним підключенням балонів

При укладанні кожного шару і зняття платформи з фіксаторів переміщення платформи можна описати рівнянням енергетичного балансу системи:

$$mg_i Z = \frac{mg_i \dot{Z}_i^2}{2} + P_{i-1} V_{i-1} \ln \left(\frac{P_i}{P_{i-1}} \right), \quad (1)$$

де m — маса одного шару вантажів; Z_i — поточна відстань переміщення платформи під дією ваги i -го шару вантажів; P_{i-1} — тиск у пневматичному циліндрі після переміщення $i-1$ -го шару вантажів; V_{i-1} — об'єм безштокової порожнини пневматичного циліндра, який встановився після переміщення $i-1$ шару вантажів; P_i — тиск у безштоковій порожнині пневмоциліндра після укладання i -го шару.

Прирівнявши швидкість платформи з вантажами до нуля $\dot{Z}_i = 0$, рівняння (1) можна записати у вигляді:

$$mgh_i = P_{i-1}V_{i-1} \ln\left(\frac{P_i}{P_{i-1}}\right), \quad (2)$$

де h_i — максимальне переміщення платформи до низу під дією ваги i -го шару.

Тиск P_i на кожному кроці переміщення визначається масою вантажів на платформі:

$$P_i = \frac{(im + m_{nl})g}{S} + P_{атм}, \quad (3)$$

де S — площа поршня пневматичного циліндра.

Для визначення площі поршня пневматичного циліндра задамося максимальним тиском P_k в системі, коли укладені всі шари вантажів, крім останнього (укладання останнього шару вантажів проводиться без переміщення платформи). Тоді площу поршня пневмоциліндра можна визначити, записавши рівняння (3) у вигляді:

$$P_k = \frac{((N-1) \cdot m + m_{nl})g}{S} + P_{атм}, \quad (4)$$

де N — кількість шарів вантажу в пакеті.

Звідки:

$$S = \frac{((N-1) \cdot m + m_{nl})g}{P_k - P_{атм}}. \quad (5)$$

Для переміщення платформи під дією першого шару вантажів рівняння (2) набуде вигляду:

$$mgh_1 = P_0V_0 \ln\left(\frac{P_1}{P_0}\right), \quad (6)$$

де P_0 , V_0 — початкові тиск і об'єм у безштоковій порожнині пневмоциліндра.

Для забезпечення стабілізації робочої поверхні укладання вантажів доцільно вибрати початковий тиск у пневматичному циліндрі таким чином, щоб максимальне переміщення під дією ваги першого шару відбувалося б на висоту, рівну висоті одного шару вантажу. Приймаючи стискування повітря в циліндрі ізотермічним і враховуючи, що для такого процесу справедливо співвідношення (2), рівняння (6) може бути записано у вигляді:

$$mgh_u = P_0V_0 \ln\left(\frac{V_0}{V_0 - Sh_u}\right). \quad (7)$$

Звідки:

$$P_0 = \frac{mgh_u}{V_0 \ln\left(\frac{V_0}{V_0 - Sh_u}\right)} \quad (8)$$

Результати аналітичного дослідження переміщення платформи за наведеною методикою наведено на рис. 3.

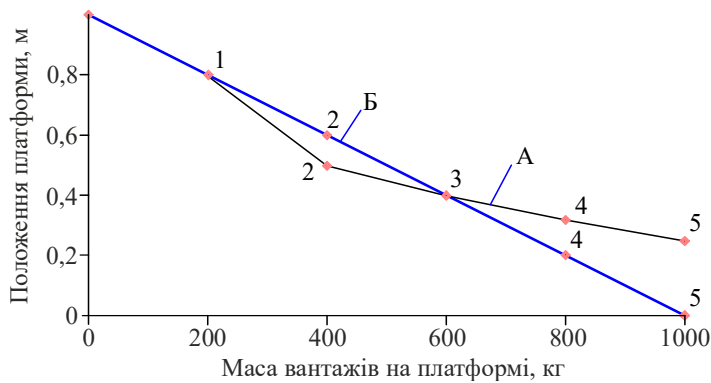


Рис. 3. Графік залежності переміщення платформи від маси вантажів на ній при відключених балонах і початковому тиску P_{01}

Крива А — це граф положень платформи при її послідовному навантаженні шарами вантажів для пакета з параметрами: упаковка з харчовим продуктом форми паралелепіпеда з розмірами 200 мм × 300 мм × 200 мм; характеристики транспортного пакета, сформованого з таких упаковок: шість шарів упаковок по шістнадцять вантажів у кожному шарі. Крива Б — це граф переміщень платформи з пружинно-пневматичним акумулятором для такого ж транспортного пакета, який характеризується лінійною залежністю положення платформи від кількості шарів вантажу на ній.

З графіка видно, що за таких умов залежність положення платформи від маси вантажів на ній практично лінійна при укладанні перших трьох шарів вантажу. Однак при укладанні четвертого і п'ятого шарів вантажів переміщення поршня, а отже, і платформи буде недостатнім. Для приведення до лінійної залежності положення платформи від кількості укладених на неї шарів вантажів при укладанні четвертого і п'ятого шарів запропоновано послідовно підключати до системи додаткові об'єми V_{b1} та V_{b2} .

Після переміщення платформи під дією ваги третього шару вантажів і встановлення її на фіксатори відбувається з'єднання пневматичного циліндра з першим додатковим балоном. При цьому відбувається процес, що можна описати рівнянням

$$P_3 V_3 + V_{b1} P_{b0} = P_3^* (V_3 + V_{b1}), \quad (9)$$

де P_3 , V_3 — тиск і об'єм безштокової порожнини циліндра після укладання третього шару вантажів; P_{b0} — початковий тиск у додаткових балонах; P_3^* — тиск, який встановлюється в безштоковій порожнині пневмоциліндра.

Після укладання четвертого шару і зняття платформи з фіксаторів переміщення платформи з вантажами до низу описується рівнянням:

$$mgh_3 = P_3^* (V_3 + V_{b1}) \ln \frac{V_3 + V_{b1}}{V_3 + V_{b1} - mgh_3}, \quad (10)$$

де h_3 — необхідне вертикальне переміщення платформи після укладання четвертого шару (відрізок 4—4, А на рис. 3).

Після завершення переміщення платформи під дією ваги четвертого шару вантажів і встановлення платформи на фіксатор відбувається з'єднання безштокової порожнини пневмоциліндра з другим додатковим балоном. Цей процес можна описати рівнянням:

$$P_4(V_4 + V_{b1}) + V_{b2}P_{b0} = P_4^*(V_4 + V_{b1} + V_{b2}), \quad (11)$$

де V_4 — об'єм безштокової порожнини циліндра після переміщення платформи під дією четвертого шару вантажів; P_4^* — тиск у безштоковій порожнині пневмоциліндра, а також у першому і другому додаткових балонах після приєднання другого балона до пневмоциліндра.

Після укладання п'ятого шару і зняття платформи з фіксаторів переміщення платформи з вантажами до низу описується рівнянням:

$$mgh_{\text{ш}} = P_4^*(V_4 + V_{b1} + V_{b2}) \ln \frac{V_4 + V_{b1} + V_{b2}}{V_{b1} + V_{b2}}. \quad (12)$$

Після завершення формування пакета починається наступний етап роботи системи, що характеризується відключенням балонів від пневмоциліндра та їх з'єднанням із ресивером. На рис. 4 наведена спрощена схема пневмосистеми для побудови математичної моделі.

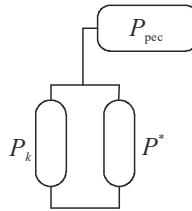


Рис. 4. Пневмосистема на етапі з'єднання балонів із ресивером

Процес перетікання газу з балонів у ресивер описується рівнянням:

$$P_k(V_{b1} + V_{b2}) + P_{\text{pec}}V_{\text{pec}} = P^*(V_{b1} + V_{b2} + V_{\text{pec}}), \quad (13)$$

де P_{pec} , V_{pec} — початковий тиск і об'єм у ресивері відповідно; P^* — тиск у балонах і ресивері під час їх з'єднання.

Після відключення балонів від ресивера залишковий тиск у них буде рівним P^* , проте, якщо він перевищує або менший за початковий тиск в балонах P_{b0} , що вимагається для пошарового переміщення платформи, то виникне потреба стравлювати або, навпаки, накачувати тиск у балонах до значення P_{b0} . Тому раціонально побудувати систему таким чином, щоб тиск P_{b0} , який встановлюється в балонах після з'єднання з ресивером, був початковим. Прирівнявши $P_{b0} = P^*$ із виразу (13), отримуємо:

$$P_{b0} = \frac{P_{\text{pec}}(V_{b1} + V_{b2}) + P_{\text{pec}}V_{\text{pec}}}{(V_{b1} + V_{b2} + V_{\text{pec}})}. \quad (14)$$

Отже, рівняння (9)—(12), (14) можуть бути зведені в систему рівнянь, з якої можна визначити V_{b1} , V_{b2} , P_{b0} :

$$\begin{cases} mgh_3 = (P_3 V_3 + V_{b1} P_{b0}) \cdot \ln \frac{V_3 + V_{b1}}{V_3 + V_{b1} - Sh_3}; \\ mgh_{ш} = (P_4 (V_4 + V_{b1}) + V_{b2} P_{b0}) \cdot \ln \frac{V_4 + V_{b1} + V_{b2}}{V_{b1} + V_{b2}}; \\ P_k (V_{b1} + V_{b2}) + P_{pec} V_{pec} = P_{b0} (V_{b1} + V_{b2} + V_{pec}). \end{cases} \quad (15)$$

Система рівнянь (15) вирішується чисельними методами для заданих параметрів вантажу й транспортного пакета.

Для визначення об'ємів балонів у загальному вигляді приймаємо таку модель укладання четвертого та п'ятого шарів вантажів: розрахуємо спочатку переміщення ΔZ_{i1} платформи під дією вантажів при закритому балоні, а потім розрахуємо її додаткове переміщення ΔZ_{i2} після відкриття балона. При цьому сумарне переміщення для цього шару ΔZ_i відоме. Для четвертого шару воно визначається з відомого переміщення третього шару, а для п'ятого шару — складає висоту одного шару вантажів. Незважаючи на прийняті припущення, за всіх інших умов включення балонів кінцеве значення переміщення платформи буде однаковим, незалежно від вибраної моделі.

При укладанні четвертого шару вантажів без додаткового балона в системі відбувається стиснення газу під дією ваги вантажу. Цей процес описується рівнянням енергетичного балансу системи:

$$m_{ш} \cdot g \cdot \Delta Z_{4.1} = P_3 V_3 \ln \left(\frac{P_4}{P_3} \right), \quad (16)$$

де $\Delta Z_{4.1}$ — переміщення платформи при укладанні четвертого шару вантажів при закритому балоні.

Об'єм безштокової порожнини пневмоциліндра після переміщення платформи без підключення балонів дорівнює:

$$V_{4.1} = V_3 - S \cdot \Delta Z_{4.1}. \quad (17)$$

З урахуванням рівняння (16) можна записати:

$$V_{4.1} = V_3 - \frac{S \cdot P_3 V_3 \ln \left(\frac{P_4}{P_3} \right)}{m_{ш} \cdot g}. \quad (18)$$

При підключенні першого додаткового балона об'ємом V_{b1} відбудеться вирівнювання тиску у безштоковій порожнині пневматичного циліндра і першого додаткового балона до значення P_4 , який визначається масою вантажів на платформі. Цей процес буде супроводжуватись переміщенням платформи до низу на висоту $\Delta Z_{4.2}$. Рівняння, що описує поведінку системи в цей момент, можна записати у вигляді:

$$P_4 V_{4.1} + V_{b0} \cdot V_{b1} = P_4 (V_3 - S(\Delta Z_{4.1} + \Delta Z_{4.2}) + V_{b1}). \quad (19)$$

Оскільки

$$Sh_{ш} = V_3 - S(\Delta Z_{4.1} + \Delta Z_{4.2}), \quad (20)$$

то

$$V_{в1} = \frac{P_4(V_{4.1} - Sh_{ш})}{P_1 - P_{в0}}. \quad (21)$$

При укладанні п'ятого шару вантажів без підключення другого додаткового балона перший балон залишається підключеним до безштокової порожнини пневмоциліндра.

Рівняння енергетичного балансу може бути записано:

$$m_{ш} \cdot g \cdot \Delta Z_{5.1} = P_4 V_4 \ln \left(\frac{P_5}{P_4} \right). \quad (22)$$

Об'єм безштокової порожнини пневмоциліндра після переміщення п'ятого шару без підключення другого додаткового балона дорівнює:

$$V_{5.1} = Sh_{ш} - S \Delta Z_{4.1} \quad (23)$$

З урахуванням рівняння (22) можна записати:

$$V_{5.1} = Sh_{ш} - \frac{S \cdot P_4 \cdot V_4 \ln \left(\frac{P_5}{P_4} \right)}{m_{ш} \cdot g}. \quad (24)$$

Після відкриття другого балона рівняння вирівнювання тиску має вигляд:

$$P_5(V_{5.1} + V_{в.1}) + P_{в0} \cdot V_{в.2} + P_5(V_{в.1} + V_{в.2}), \quad (25)$$

звідки

$$V_{в.2} = \frac{P_5 \cdot V_{5.1}}{P_5 - P_{в0}}. \quad (26)$$

Після відключення балонів ресивер через регулятор тиску з'єднується з пневмоциліндром і платформа знову підіймається в початкове положення. При цьому в циліндрі створюється тиск P_{01} .

Щоб знайти тиск у ресивері після того, як тиск у циліндрі буде P_{01} , запишемо вираз:

$$P_{0.1}^* \cdot SH + V_{рес} \cdot P_{рес}^* = P_{0.1} \cdot SH + V_{рес} \cdot P_{рес.k}, \quad (27)$$

звідки

$$P_{рес.k} = \frac{P_{0.1}^* \cdot SH + V_{рес} \cdot P_{рес}^* - P_{0.1} \cdot SH}{V_{рес}}, \quad (28)$$

де $P_{рес.k}$ — тиск у ресивері в кінці циклу.

На рис. 5 наведена схема зміни тиску в системі функціонального мехатронного модуля накопичення шарів вантажів із пневматичним приводом на

різних етапах її роботи. Відповідно до схеми встановлено, що в результаті раціонального вибору параметрів окремих компонентів системи цикл зміни тиску в системі при укладанні кожного пакета є замкнутим. Таким чином вдається уникнути втрат енергії, обумовлених необхідністю стравлювати або підкачувати тиск у балонах і пневмоциліндрі для забезпечення початкового значення тисків. Передбачається, що підкачування тиску до значення P_0 в пневмоциліндрі та P^* в балонах відбувається тільки один раз на початку роботи системи при формуванні першого пакета.

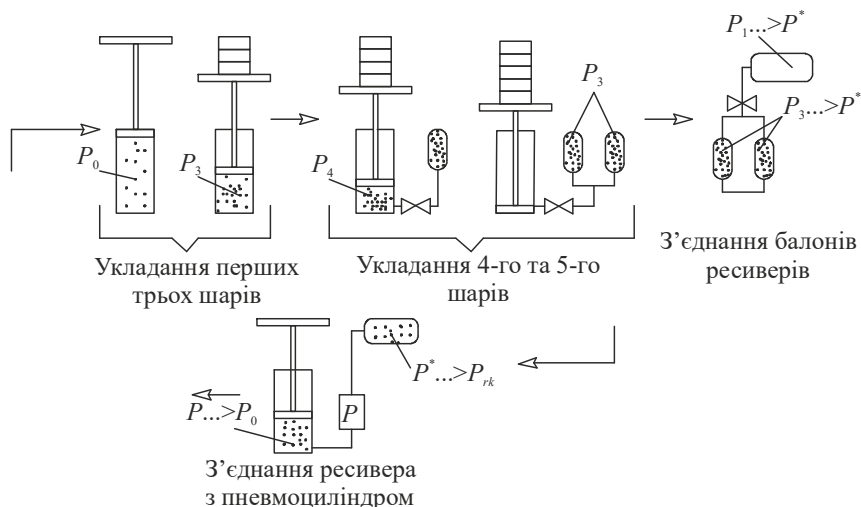


Рис. 5. Схема зміни тиску в системі функціонального мехатронного модуля накопичення шарів вантажів із пневматичним приводом на різних етапах її роботи

Визначимо швидкість платформи при її переміщенні до низу. Для цього запишемо рівняння енергетичного балансу системи. Потенціальна енергія платформи із вантажем при її переміщенні до низу переходить у кінетичну енергію платформи із вантажем, а також у роботу, що витрачається на стискування газу в безштоковій порожнині пневмоциліндра. А тому без врахування дисипативних сил рівняння енергетичного балансу системи можна записати:

$$E_{\Pi} = E_k + A_{\text{ст}}, \quad (29)$$

де E_{Π} — потенціальна енергія платформи із вантажем; E_k — кінетична енергія платформи із вантажем; $A_{\text{ст}}$ — робота стискування.

При ізотермічному процесі роботи $A_{\text{ст}}$ можна визначити:

$$A_{\text{ст}} = P_0 \cdot V_0 \cdot \ln\left(\frac{V_0}{V}\right). \quad (30)$$

Тоді можна записати, що:

$$mgZ = \frac{m\dot{Z}^2}{2} + P_0 SH \cdot \ln\left(\frac{H}{H-Z}\right). \quad (31)$$

Із рівняння (31) визначимо швидкість руху платформи:

$$\dot{Z} = \sqrt{2 \left(gZ - \frac{P_0 SH}{m} \ln \left(\frac{H}{H-Z} \right) \right)}. \quad (32)$$

Тривалість переміщення платформи до низу можна визначити за формулою:

$$t_i = \int_{Z_0}^{Z_i} \frac{1}{v(Z)} \cdot dZ \quad (33)$$

За допомогою кінематичних і часових параметрів узгоджується продуктивність мехатронного модуля та циклова діаграма роботи всього комплексу пакування.

Висновки

На основі проведених аналітичних досліджень розроблена схема та методика розрахунку пневматичних акумуляторів для рекуперації енергії в пневматичних приводах функціональних мехатронних модулів покрокового накопичення шарів вантажів. Встановлено, що потенціальна енергія вантажів переходить в енергію стисненого повітря, частина якої витрачається на піднімання порожньої платформи, а інша частина передається в пневмосистему пакувального комплексу. Основною перевагою такої конструкції порівняно з пружно-пневматичними акумуляторами енергії — малий час перехідних процесів і відсутність багаторазового перетворення енергії з одного виду в інший. Результати дослідження можна рекомендувати для впровадження при проектуванні нових конструкцій функціональних мехатронних модулів покрокового накопичення шарів вантажів з пневматичним приводом.

Література

1. Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І., Кохан О.О. Пакувальне обладнання: підруч. для студ. ВНЗ. Київ: ІАЦ Упаковка, 2010. 746 с.
2. Проектирование и разработка промышленных роботов: книга / С.С. Аншин и др.; Под общ. ред. Я. А. Шифрина, П. Н. Белянина. Москва: Машиностроение, 1989. 272 с.
3. Васильев А.Л. Модульный принцип формирования техники: книга. Москва: Издательство стандартов, 1989. 240 с.
4. Васильев А.Л. Модульный принцип в судостроении. *Стандарты и качество*. 1983. № 1. С. 8—14.
5. Пакетоформирующие машины: книга / А.П. Кривопляс и др. Москва: Машиностроение, 1982. 239 с.
6. Пальчевський Б.О. Автоматизація технологічних процесів (виготовлення і пакування виробів): навч. посіб. Львів: Світ, 2007. 392 с.
7. Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І., Пакувальне обладнання. Обладнання для обробки транспортних пакетів: підруч. для студ. ВНЗ. Київ: ІАЦ Упаковка, 2006. 96 с.
8. Жавнер М.В. Методы расчета и проектирования исполнительных устройств робототехнических систем на базе пружинных механизмов: дис. канд. техн. наук: 02.05.02. Унив. низкотемп. и пищ. технол. Санкт-Петербург, 2003. 132 с.
9. Крутіков Г.А. Синтез енергозберігаючих гідропневмоагрегатів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня док. техн. наук: спец. 05.05.17 / Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». Харків, 2011. 35 с.
10. Евдокимов А.И., Осипов В.А. Схемы энергосбережения для пневматических приводов *Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей*. 2003. С. 364—365.

CARBON DIOXIDE EMISSIONS AT THE UKRAINIAN PULVERIZED-COAL THERMAL POWER PLANTS

I. Volchyn, L. Haponych

National University of Food Technologies

Key words:

Power industry

Environment

Thermal power plant

Flue gases

Carbon dioxide

Coefficient of carbon emission

Coal calorific value

Article history:

Received 12.11.2018

Received in revised form
27.11.2018

Accepted 14.12.2018

Corresponding author:

I. Volchyn

E-mail:

npnuht@ukr.net

ABSTRACT

During the last years, changes in the world power generation envisioned a new direction of the development of consolidated power system of Ukraine, namely, the struggle against increase in the greenhouse effect, including the reduction of carbon dioxide emissions. Ukrainian power engineers should solve the problem of passage to the trajectory of low-carbon development according to the European environmental legislation and national interests. The strategy of measures for decrease in CO₂ emissions in power generation should lie in the wide introduction of ecologically pure power efficient low-carbon technologies.

Ukraine signed and ratified the Agreement on association with the EU in 2014. One of the requirements advanced in this Agreement lies in establishing the procedures of monitoring, reporting, and verification (MRV) of the emissions of greenhouse gases from power plants. The system of monitoring, reporting, and verification of the emissions of greenhouse gases should be based on the assemblage of procedures for estimating the emissions of greenhouse gases.

Nowadays, Ukrainian power engineering has no common obligatory procedure for the calculation of CO₂ emissions, based on using the coefficient of emissions that takes into account the fuel calorific value, which is required by the Directive 2003/87/EU. We have developed an engineering method for calculating CO₂ emissions, formed during coal firing at thermal power plants. Our method is based on the specific parameters of carbon emission with regard for the low calorific value of coal. By this method, we determined the specific parameters of carbon emission and gross CO₂ emissions at Ukrainian power plants during the last years. Gross CO₂ emissions were 54 · 10⁶ t in 2015 and 59 · 10⁶ t in 2016. The specific CO₂ emissions are equal to 1.1 t CO₂ per kWh, that is, the reduction of specific emissions of CO₂ did not occur. This correlates with high specific consumptions of standard fuel at Ukrainian thermal power plants during the last years.

ВИКИДИ ДІОКСИДУ ВУГЛЕЦЮ НА УКРАЇНСЬКИХ ВУГІЛЬНИХ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯХ

І.А. Вольчин, Л.С. Гапонич

Національний університет харчових технологій

Останні роки у світовій енергетиці відбулися зміни, що зумовили новий напрям розвитку об'єднаної енергетичної системи України — це боротьба з посиленням «парникового ефекту», в тому числі скорочення викидів діоксиду вуглецю. Перед енергетиками України стоїть завдання переходу на шлях низьковуглецевого розвитку відповідно до європейського екологічного законодавства та національних інтересів. Стратегія заходів зі зменшення викидів CO_2 в енергетиці має полягати у широкому впровадженні екологічно чистих енергоефективних і низьковуглецевих технологій.

Україна в 2014 р. підписала та ратифікувала Угоду про асоціацію з ЄС. Однією з вимог, що висуваються в Угоді, є встановлення процедур моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів від енергетичних установок. Основою системи моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів є сукупність методик для оцінки викидів парникових газів. На сьогодні в енергетиці України немає єдиної обов'язкової методики розрахунку викидів CO_2 , яка б базувалася на використанні коефіцієнта викидів, що враховує теплоту згоряння палива, як того вимагає Директива 2003/87/ЄС.

При виконанні дослідження було створено інженерний метод розрахунку емісії CO_2 , що утворюється при спалюванні вугілля на ТЕС, на основі специфічних показників емісії вуглецю з урахуванням нижчої теплоти згоряння вугілля. За розробленим методом були отримані значення специфічних показників емісії вуглецю та валових викидів CO_2 на ТЕС України в останні роки. Валові викиди вуглекислого газу у 2015 р. становили 54215,4 тис. тонн, а у 2016 р. — 59730,3 тис. тонн. Значення питомих викидів CO_2 на ТЕС знаходяться на рівні 1,1 $\text{тCO}_2/\text{кВтг}$, тобто зменшення питомих викидів CO_2 не відбулося. Це корелює з високими питомими витратами умовного палива на ТЕС України в останні роки.

Ключові слова: енергетика, екологія, теплова електростанція, димові гази, діоксид вуглецю, коефіцієнт емісії вуглецю, теплота згоряння вугілля.

Постановка проблеми. Останні роки у світовій енергетиці відбулися зміни, що зумовили нові напрями розвитку об'єднаної енергетичної системи України. Одним із трендів розвитку світової енергетики сьогодні є боротьба з посиленням «парникового ефекту», в тому числі скорочення промислових викидів вуглецю. Тому перед енергетиками України стоїть завдання — перехід на шлях низьковуглецевого розвитку енергетики відповідно до європейського екологічного законодавства та національних інтересів. Заходи зі зменшення парникового ефекту в енергетиці мають полягати у скорочення використання викопних джерел енергії — вугілля, нафти, газу та широкому

впровадженні екологічно чистих енергоефективних і низьковуглецевих технологій [1].

У Парижі 30.11.2015—12.12.2015 пройшла XXI Конференція Сторін Рамкової конвенції ООН про зміну клімату за участю 196 країн світу, де було прийнято глобальну угоду з протидії зміні клімату на 2021—2030 рр. — Паризьку угоду. Угода була відкрита до підписання та ратифікації з 22.04.2016 . В той же день Паризьку угоду було підписано Україною, а 13.07.2016 ратифіковано Законом України № 0105 «Про ратифікацію Паризької угоди щодо боротьби зі зміною клімату». Угода регулює процес викидів семи парникових газів: вуглекислого газу CO₂, метану CH₄, оксиду азоту N₂O, гідрофторвуглеводів, перфторвуглецю, гексафториду сірки SF₆ і трифториду азоту NF₃.

Згідно з Угодою, Україна сама має визначити для себе зобов'язання щодо рівня викидів парникових газів з урахуванням її соціально-економічного розвитку та фінансових можливостей і повинна переглядати їх раз на п'ять років. 30.09.2015 Україною було подано до Секретаріату Рамкової конвенції зміни клімату ООН зобов'язання, що очікуваний рівень викидів парникових газів у 2030 р. не має перевищувати 60 % рівня 1990 р. — 947,3 млн т CO₂ екв., тобто бути не більше 568,4 млн т CO₂ екв. в рік. В Україні в останні роки об'єм викидів парникових газів скоротився [2]. У 2015 р. він був 319,0 млн т CO₂ екв., тобто зменшився порівняно з 1990 р. на 66,3%. Таке скорочення, в основному, є наслідком зменшення використання енергетичних ресурсів через спад промисловості, зниження чисельності населення і попиту на електроенергію. У 2016 р. сумарні викиди парникових газів в Україні становили 338,6 млн т CO₂ екв. Якщо порівняти з 1990 р., сумарні викиди скоротилися на 64,2%, але проти 2015 р. викиди збільшилися на 6,1%. Тому поданий рівень зобов'язань скорочення викидів парникових газів є низьким і дає країні можливість їх збільшувати, що не відповідає головній меті Паризької угоди та Стратегії низьковуглецевого розвитку України [1].

Верховна Рада України та Європейський парламент 16.09.2014 синхронно ратифікували Угоду про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та ЄС, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони. Угода набрала чинності 01.09.2017. В Угоді про асоціацію сферу охорони навколишнього середовища названо однією з пріоритетних. Однією з вимог, що висуваються в Угоді, є встановлення процедур моніторингу, звітності та верифікації (MRV) викидів парникових газів від енергетичних і промислових установок [3].

Законодавство України в сфері моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів знаходиться на стадії розробки за принципами: максимально можливе наближення до законодавства ЄС, врахування українських національних особливостей, ефективно залучення всіх зацікавлених сторін до процесу розроблення законодавчих актів. Відповідно до цього розроблено багаторівневу структуру актів щодо моніторингу, звітності та верифікації. Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 07.12.2016 № 932-р схвалено «Концепцію реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року» [4]. Це перший національний документ у сфері боротьби зі зміною

клімату, у якому враховано основні положення Паризької угоди. Вже готові проект Закону України «Про засади моніторингу, звітності та верифікації та викидів парникових газів» та проект постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження порядку здійснення моніторингу та звітності викидів парникових газів».

Закон «Про засади моніторингу, звітності та верифікації та викидів парникових газів» є рамочним, він визначає правові та організаційні основи функціонування моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів і спрямований на виконання зобов'язань України за Угодою про асоціацію між Україною та ЄС, з іншої сторони, а також на виконання вимог Рамкової конвенції Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату та Паризької угоди.

Основою системи моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів є сукупність методик для оцінки викидів парникових газів на рівні установок (джерел викиду). На сьогодні в енергетиці України немає єдиної обов'язкової методики розрахунку викидів парникових газів, яка б базувалася на використанні коефіцієнта викиду, що враховує теплоту згоряння вугілля, як того вимагає Директива 2003/87/ЄС [5].

Крім того, Мінприроди України в 2018 р. планує ввести новий вуглецевий податок, який буде виділений із структури чинного екологічного податку. Плануються певні законодавчі зміни в Податковому і Бюджетному кодексах. Міністерством оприлюднена інформація, що розмір податку буде на рівні одного євро за тону CO_2 . Сьогодні в Україні в структурі екологічного податку закладено лише 0,013 євро (0,41 грн) за тону CO_2 . Треба зазначити, що ставка вуглецевого податку в країнах ЄС коливається від 5 до 130 євро за тону і в середньому становить 15—20 євро/т. Введення екологічного вуглецевого податку неминуче вплине на кінцеві тарифи на електричну енергію для споживачів, при ставці податку 1 євро — плата за електроенергію збільшиться на 10—15%.

Суттєві викиди парникових газів в Україні відбуваються в секторі «Виробництво електроенергії та теплоти». До цієї категорії відносяться викиди від спалювання палива при виробництві електроенергії й теплоти тепловими електростанціями (ТЕС), теплоелектроцентралями (ТЕЦ), котельними тощо. У 1990—2016 рр. на них припадало 26,7 — 34,7% від загальної емісії парникових газів в Україні. Зниження викидів у секторі «Виробництво електроенергії та теплоти» в 2016 р. порівняно з 1990 р. становить 64,8%, з 272,7 до 95,9 млн. т CO_2 екв. Найбільшим джерелом емісії парникових газів в енергетиці є вугільні теплові електростанції, де у період 1990—2016 рр. викидалося 13—19% від загального обсягу викидів парникових газів. Основний парниковий газ, що утворюється при спалюванні органічного палива на ТЕС, — це діоксин вуглецю.

В останні роки в паливному балансі ТЕС частка вугілля є переважною. Вона становить 98%, а частка природного газу та мазуту, які використовуються для пуску вугільних котлів, відповідно, — 2% [6; 7]. При спалюванні природного газу та мазуту утворюється всього 1,5—2,0% від загального об'єму димових газів ТЕС. Головні фактори, що визначають величезні об'єми викидів діоксиду вуглецю на ТЕС — це обсяги споживання вугілля та високі

витрати палива на виробництво електроенергії. Тому стратегія боротьби з зменшенням викидів CO_2 в енергетиці має полягати у широкому впровадженні енергоефективних, енергоощадних екологічно чистих і низьковуглецевих технологій, в тому числі підвищенні ефективності переробки вугілля.

Загальний обсяг видобутку вугілля на шахтах України у 2016 р. становив 40,9 млн. т, з них 32,5 млн т — це енергетичне вугілля, в 2017 р. було видобуто 34,9 млн. т, з них енергетичного — 31,0 млн т. В останні роки на українських ТЕС щорічно споживається 25—30 млн т вугілля. Тому становить інтерес питання розрахунку викидів вуглекислого газу, що утворюються саме при спалюванні вугілля на ТЕС.

При відомому елементному складі вугілля, що постачається на ТЕС, за стандартною методикою [8—10] можна визначити кількість діоксиду вуглецю в сухих димових газах, що утворилася при спалюванні вугілля. Але в реальних умовах партії вугілля, що постачаються на ТЕС, супроводжуються тільки технічним аналізом. Тому **метою дослідження** є створення інженерного методу розрахунку емісії CO_2 , що утворюється при спалюванні вугілля на ТЕС, за даними технічного аналізу з обов'язковим урахуванням нижчої теплоти згоряння палива на робочий стан палива Q_i^r , як того вимагає Директива 2003/87/ЄС.

Викладення основних результатів дослідження. Розрахунок емісії діоксиду вуглецю на ТЕС може виконуватися на основі постійних неперервних вимірювань концентрацій CO_2 та об'ємної витрати димових газів або розрахункових методів за даними про витрати та склад використаного палива і характеристики енергетичних котлів [8—10]. Для організації постійних неперервних вимірювань концентрацій забруднювальних речовин та об'ємної витрати димових газів потрібно використовувати вимірювальне обладнання, якого сьогодні немає на ТЕС України.

Розрахункові методи визначення викиду CO_2 , що утворюються при спалюванні вугілля, базуються на використанні коефіцієнта викиду (показника емісії, emission factoe) та ступеня окислення вуглецю палива в котлі:

$$E_{\text{CO}_2} = 10^{-6} k_{\text{CO}_2} \cdot B \cdot Q_i^r, \quad (1)$$

де E_{CO_2} — валовий викид CO_2 , тис. т; k_{CO_2} — коефіцієнт викиду CO_2 , г/ГДж; Q_i^r — нижча робоча теплота згоряння вугілля, МДж/кг; B — витрата вугілля за проміжок часу (рік), тис. т.

Коефіцієнт викиду характеризує масову кількість забруднювальної речовини, яка викидається енергетичною установкою в атмосферне повітря разом з димовими газами, віднесена до одиниці енергії, що виділяється при згорянні палива. Він залежить від багатьох чинників. Існують два коефіцієнти викиду — узагальнений і специфічний. При наявності обох коефіцієнтів необхідно використовувати специфічний.

Узагальнений коефіцієнт викиду є середньою питомою величиною викиду для певної категорії енергетичних установок, певної технології спалювання палива, певного виду палива з урахуванням заходів щодо зниження викиду

забруднювальної речовини. Він не враховує особливостей хімічного складу палива.

Специфічний коефіцієнт викиду є питомою величиною викиду, яка визначається для конкретної енергетичної установки з урахуванням індивідуальних характеристик палива, конкретних характеристик процесу спалювання та заходів щодо зниження викиду забруднювальної речовини. Специфічний коефіцієнт викиду CO_2 для вугілля можна записати [8]:

$$k_{\text{CO}_2} = \frac{44}{12} \cdot \frac{C^r}{100} \cdot \frac{10^6}{Q_i^r} \varepsilon_C = 3,67 k_C \varepsilon_C, \quad (2)$$

де C^r — масовий вміст вуглецю в вугіллі на робочу масу, %; Q_i^r — нижча робоча теплота згоряння вугілля, МДж/кг; ε_C — ступінь окислення вуглецю палива; k_C — коефіцієнт викиду вуглецю палива, г/ГДж.

Ступінь окислення вуглецю ε_C палива визначається за формулою [8]:

$$\varepsilon_C = 1 - \frac{A^r}{C^r} \left(a_{\text{вин}} \frac{\Gamma_{\text{вин}}}{100 - \Gamma_{\text{вин}}} + (1 - a_{\text{шл}}) \frac{\Gamma_{\text{шл}}}{100 - \Gamma_{\text{шл}}} \right) = 1 - \frac{q^r}{C^r} \cdot \frac{Q_i^r}{Q_C}, \quad (3)$$

де q_4 — втрати теплоти через механічний недопал, %; Q_C — теплота згоряння вуглецю до CO_2 , яка дорівнює 32,68 МДж/кг;

Ступінь окислення вуглецю ε_C палива з точністю до 0,6% можна визначати за формулою [11]:

$$\varepsilon_C = 1 / (1 - q_4 / 100). \quad (4)$$

Специфічний коефіцієнт викиду вуглецю k_C — це відношення вмісту вуглецю вугілля до його теплоти згоряння:

$$k_C = \frac{C^r}{100} \cdot \frac{10^6}{Q_i^r}, \quad (5)$$

де C^r — масовий вміст вуглецю в паливі на робочу масу, %; Q_i^r — нижча робоча теплота згоряння вугілля, МДж/кг.

За відсутності даних про вміст вуглецю у вугіллі та його теплоту згоряння для оціночних розрахунків можна користуватись узагальненими коефіцієнтами викиду вуглецю k_C , г/ГДж наведеними або в національному керуючому документі ГКД 34.02.305-2002 [8], або у звіті Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) [7]. З табл. 1 видно, що значення коефіцієнтів викиду вуглецю з національних і європейських керівництв відрізняються суттєво. В табл. 1 також наведені значення узагальнених коефіцієнтів викиду вуглецю для спалювання українського енергетичного вугілля різних марок отримані [12].

Треба зазначити, що в європейських керівних і методичних документах з визначення парникових газів [9; 10] визначено, що значення специфічних коефіцієнтів викиду вуглецю та діоксиду вуглецю залежить від країни видобутку вугілля і рекомендується використовувати національні значення цих коефіцієнтів.

Таблиця 1. Значення узагальнених коефіцієнтів емісії вуглецю k_C , г/ГДж для енергетичного вугілля різних марок

Вугілля	k_C , г/ГДж		
	[8]	[10]	[12]
Антрацит (А)	28160	26810	28560
Пісне (П)	26050	немає даних	26200
Газове та довгополуменеве (Г, ДГ)	25180	25800	25680

Отже, розрахунок специфічного коефіцієнта викиду вуглецю базується на використанні вмісту вуглецю в вугіллі C^r , значеннях нижчої робочої теплоти згоряння палива Q_i^r і втрат теплоти через механічний недопал палива в енергетичній установці q_4 . Але в реальних умовах партії вугілля, що постачаються на ТЕС, супроводжуються технічним аналізом, у якому надані тільки такі характеристики палива, як волога на робочий стан W_i^r , зольність A^d та сірка S^d на сухий стан, нижча теплота згоряння вугілля Q_i^r на робочий стан палива. Дані технічного аналізу не дають змоги безпосередньо (за стандартною методикою) розрахувати специфічні показник емісії вуглецю для вугілля та емісію діоксиду вуглецю. Тому нами було розроблено метод розрахунку специфічного показник емісії вуглецю для енергетичного вугілля різних марок.

Розрахунки виконані за даними 140 сертифікатів на вугільну продукцію з шахт і збагачувальних фабрик Донецького вугільного басейну, для зразків вугілля марок А, П, Г, ДГ, Д, з діапазоном Q_i^r від 16,1 до 31,3 МДж/кг. Сертифікати складено та затверджено державним підприємством «УкрНДІвугле-збагачення», м. Дніпро. На основі цих сертифікатів було визначено елементний склад для кожного зразка палива. В сертифікаті, зокрема, визначено такі характеристики, як марка вугілля, вміст летких на сухий беззольний стан (горючу масу) V^{daf} , зольність на сухий стан A^d , загальна сірка на сухий стан S_i^d , вища теплота згоряння на сухий беззольний стан Q_s^{daf} , загальна волога на робочий стан W_i^r , піритна сірка на сухий стан S_p^d , сульфатна сірка на сухий стан S_s^d , нижча теплота згоряння на робочий стан Q_i^r , органічний вуглець на сухий беззольний стан C^{daf} , органічний водень на сухий беззольний стан H^{daf} , органічна сірка на сухий беззольний стан S_o^{daf} , азот і кисень на сухий беззольний стан $(N+O)^{daf}$ тощо. Тобто за даними сертифікатів було проведено розрахунки за формулами (2)—(5).

На рис. 1 наведено результати розрахунків специфічних коефіцієнтів викиду вуглецю вугілля k_C для 140 зразків енергетичного вугілля України різних марок, а саме: А, Т, Г та ДГ. Встановлено, що для вугілля марок А, Г та ДГ залежність специфічних показників емісії вуглецю вугілля k_C , г/ГДж від теплоти згоряння вугілля Q_i^r , МДж/кг, має лінійний характер: $k_C = A - b \cdot Q_i^r$, де a та b — коефіцієнти, що залежить від марки вугілля. Для вугілля марки П залежності специфічних коефіцієнтів емісії вуглецю вугілля від теплоти згоряння палива не виявлено.

У табл. 2 наведено узагальнені результати розрахунків залежності значень специфічних коефіцієнтів емісії вуглецю k_C від нижчої теплоти згоряння вугілля Q_i^r , середнє квадратичне відхилення σ , діапазон отриманих значень

специфічних коефіцієнтів емісії вуглецю та значення узагальнених коефіцієнтів емісії вуглецю для вугілля марок А, П, Г та ДГ.

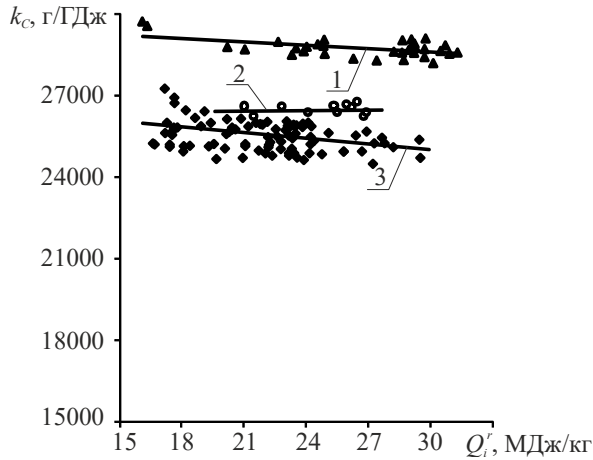


Рис. 1. Залежності специфічних коефіцієнтів емісії вуглецю k_C від теплоти згоряння вугілля Q_i' для зразків енергетичного вугілля України марок А, Т, Г та ДГ: 1 — марка А; 2 — марка Т; 3 — марки Д та ДГ

Таблиця 2. Специфічні та узагальнені коефіцієнти емісії вуглецю для енергетичного вугілля України різних марок

Коефіцієнт емісії вуглецю k_C , г/ГДж	Для вугілля марок		
	А	П	Д та ДГ
Специфічний:			
залежність	$k_C = 29900 - 40 \cdot Q_i'$	26450	$k_C = 26800 - 55 \cdot Q_i'$
σ , %	0,97	0,90	2,39
макс. значення	29735	26805	27292
мін. значення	28200	25934	24116
Узагальнений	28760	26450	25630

Аналіз результатів показує, що значення узагальнених коефіцієнтів викиду вуглецю з різних літературних джерел (табл. 1) знаходяться в діапазоні значень, отриманих з розрахунків специфічних коефіцієнтів емісії вуглецю (табл. 2, наведено максимальні та мінімальні значення). Похибка розрахунку специфічного коефіцієнта емісії вуглецю за залежностями, наведеними в табл. 2, не перевищує 2,5%, що відповідає вимогам до моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів від енергетичних і промислових установок [9; 10]. Треба зазначити, що на ТЕС України спалюються паливні суміші з низькорекційного вугілля марок А, П. Використання значень узагальнених коефіцієнтів викиду вуглецю вугілля з табл. 1 та 2 пов'язано з деякими похибками, оскільки в офіційній звітності ТЕС не надається інформація з масових часток вугілля тієї чи іншої марки. Тому для оціночних розрахунків специфічних показників емісії вуглецю при спалюванні сумішей вугілля марок А та П пропонується використовувати залежність $k_C = 28900 -$

$50 \cdot Q_i^r$, середнє квадратичне відхилення в цьому випадку складає $\sigma = 4,4\%$. Враховуючи практичне значення методики розрахунку коефіцієнтів емісії вуглецю у випадку спалювання сумішей вугілля марок А та П, планується продовження робіт в цьому напрямку для залучення більшої інформації з елементного складу зразків вугілля марки П.

За залежностями специфічних коефіцієнтів викиду вуглецю з урахуванням нижчої теплоти згоряння вугілля (табл. 2) та формулою (4) для розрахунку степенів окислення вуглецю були проведені розрахунки специфічних показників викиду вуглецю та валових викидів діоксиду вуглецю на ТЕС України. Для розрахунків використовувалася інформація з якості, витрати вугілля, що постачалося на ТЕС, та q_4 з офіційних звітів ТЕС-ЗТЕХ. В табл. 3 наведено результати розрахунків для вугільних ТЕС та п'яти генеруючих компаній України для 2016 року. В табл. 3 також показані марки палива, що спалюються на ТЕС.

Таблиця 3. Специфічні коефіцієнти емісії вуглецю та валові викиди CO₂ від спалювання вугілля на ТЕС України у 2016 році

Генеруюча компанія / ТЕС	Марка вугілля	Вугілля		q_4 , %	Розрахунок			
		Q_i^r , МДж/кг	B , тис. тон		з урахуванням Q_i^r та q_4		за [5] з урахуванням q_4	
					k_{CO_2} , г/ГДж	E_{CO_2} , тис. тонн	k_{CO_2} , г/ГДж	E_{CO_2} , тис. тонн
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ДОНБАСЕНЕРГО			4009,7			9344,7		9112,0
Старобешівська ТЕС	А, П	23,30	2449,7	3,73	27735	5586,9	27100	5459,0
Слов'янська ТЕС	А	23,30	1560,0	2,68	28968	3757,8	28160	3653,0
ЦЕНТРЕНЕРГО			5041,8			10685,0		10473,0
Вуглегірська ТЕС	Г, ДГ	22,35	2521,3	0,21	25571	5273,2	25180	5192,6
Трипільська ТЕС	А, П	21,93	1433,7	6,18	27804	3007,3	27100	2931,2
Зміївська ТЕС, в т. ч.	А, П	23,23	1086,70			2404,5	27100	2349,2
ст. № 1—4		23,25	377,8	5,15	27738	846,8	27100	827,3
ст. № 5—6		23,26	372,0	4,39	27737	841,4	27100	822,1
ст. № 7—10		23,19	336,9	9,89	27740	716,3	27100	699,8
ДНІПРОЕНЕРГО			6030,8			12734,0		12505,2
Криворізька ТЕС	П	24,03	2310,3	5,71	26450	5077,2	26050	5000,4
Придніпровська ТЕС, в т. ч.	А, П	23,47	1354,9			2999,2	27100	2931,4
ст. № 7—10		23,46	986,4	7,05	27727	2187,7	27100	2137,2
ст. № 11—14		23,50	368,5	7,73	27725	812,5	27100	794,2
Запорізька ТЕС	Г, ДГ	21,02	2365,6	0,39	25644	4657,6	25180	4573,4
ЗАХІДЕНЕРГО			7580,3			14701,2		14429,5
Бурштинська ТЕС	Г, ДГ	20,74	4234,0	1,26	25659	8158,3	25180	8006,0
Добротвірська ТЕС, в т. ч.	Г, ДГ	21,01	1164,2			2267,3	25180	2226,3
ст. № 7—8		21,0	725,2	1,39	25645	1412,0	25180	1386,4
4*50 МВт		21,05	439,0	1,54	25642	855,3	25180	839,9
Ладижинська ТЕС	Г, ДГ	20,91	2182,1	0,36	25650	4275,6	25180	4197,2
СХІДЕНЕРГО			6573,6			12265,4		11980,8

Продовження табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Зуївська ТЕС	Г, ДГ	19,85	1775,5	0,25	25708	3314,5	25180	3246,4
Курахівська ТЕС	Г, ДГ	17,37	2896,0	2,17	25844	4665,1	25180	4545,1
Луганська ТЕС	А, П	23,51	1902,2	5,72	27725	4285,8	27100	4189,3
ВСЬОГО, з них			29236,2			59730,3		58500,5
на АШ + П		23,71	12097,5			27118,8		26513,5
на Г + Д		19,98	17138,7			32611,5		31987,0

Використання для розрахунків коефіцієнтів викиду вуглецю з урахуванням нижчої теплоти згоряння вугілля дали значення викидів CO₂ на ТЕС України у 2016 р. на 1230 тис. тонн більше ніж при використанні методики [8]. Крім того, урахування в розрахунках нижчої теплоти згоряння вугілля відповідає вимогам до моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів від енергетичних і промислових установок [9; 10].

У табл. 4 наведено узагальнені характеристики питомих викидів CO₂ на вугільних ТЕС України в 2014—2016 роках. Результати узагальнено для ТЕС, що спалюють вугілля марок А, П, і для ТЕС, що спалюють вугілля марок Г, ДГ. Для розрахунків використовувалася інформація з якості, витрати вугілля, паливного балансу та відпущеної на ТЕС електроенергії з офіційних звітів ТЕС-3Тех.

Таблиця 4. Питомі викиди CO₂ на ТЕС України у 2014—2016 рр.

Вугільні ТЕС України	Відпущена електроенергія, тис. кВтг	Питомий вихід CO ₂			КПД, %	Витрата у. п., г/кВтг
		кг CO ₂ / кВтг	т CO ₂ / т вугілля	т CO ₂ /т у. п. вугілля		
2014 р.						
Всього	62032,7	1,1	2,1	2,76	31,2	397,7
на А+П	28561,6	1,13	2,2	2,8	29,7	413,6
на Г+ДГ	33471,0	1,0	1,9	2,7	31,2	387,9
2015 р.						
Всього	49397,8	1,1	2,0	2,8	30,9	400,8
на А+П	15564,5	1,2	2,3	2,9	28,8	428,5
на Г+ДГ	33833,2	1,0	1,9	2,7	31,6	389,8
2016 р.						
Всього	52726,3	1,1	2,0	2,1	30,7	403,7
на А+П	21454,9	1,3	2,2	2,3	29,1	423,8
на Г+ДГ	31271,4	1,0	1,9	1,9	31,8	395,6

З табл. 4 видно, що значення питомих викидів CO₂ на ТЕС знаходяться на рівні 1,1 тCO₂/кВтг, причому на ТЕС, що спалюють вугілля марок А та П, значення знаходяться на рівні 1,3 тCO₂/кВтг, тобто вище на 30%, ніж на ТЕС, що спалюють вугілля марок Г та ДГ. Для порівняння — на вугільних ТЕС Японії, Європи, Америки, що працюють на надкритичних параметрах пари (тиск пари 240—260 бар, такі як вугільні ТЕС України) із встановленим обладнанням сірко- та азотоочистки, цей показник складає 0,85 тCO₂/кВтг, а на ТЕС, що працюють на надсуперкритичних параметрах пари (більше 280 бар), — 0,84—0,76 тCO₂/кВтг [13]. Треба зазначити, що в базовому 2009 р. для

об'єднаної енергосистеми України цей показник був 1,05 т CO₂/ кВтг [14], тобто зменшення питомих викидів CO₂ не відбулося. Це корелює зі зменшенням КПД вугільних блоків і збільшенням питомих витрат палива на 1 кВтг виробленої електроенергії, що спостерігається на ТЕС України в останні роки [15]. Середній ККД вугільних енергоблоків низький, він становить близько 31%. При цьому спостерігаються високі питомі витрати умовного палива (у. п.) на 1 кВт-годину відпущеної електроенергії (табл. 4), у 2015 р. вони були 400,8 г/кВтг., у 2016 р. — 403,7 г/кВтг, у 2017 р. — 401,3 г/кВтг.

Отримано також значення питомих викидів CO₂ на тонну спожитого вугілля. Цей показник є корисним для практичних розрахунків екологічного податку.

Висновки

1. Україна підписала та ратифікувала Угоду про асоціацію між Україною та ЄС. Однією з вимог, що висувуються в Угоді, є встановлення процедур моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів від енергетичних і промислових установок.

2. Основою системи моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів є сукупність методик для оцінки викидів парникових газів. На сьогодні в енергетиці України немає єдиної обов'язкової методики розрахунку викидів парникових газів, яка б базувалася на використанні коефіцієнта викидів парникових газів, який враховує теплоту згоряння палива, як того вимагає Директива 2003/87/ЄС.

3. При проведенні дослідження було створено інженерний метод розрахунку викиду CO₂, що утворюється при спалюванні вугілля на ТЕС, на основі специфічних коефіцієнтів викиду вуглецю з урахуванням нижчої теплоти згоряння вугілля.

4. За розробленим методом були отримані значення специфічних коефіцієнтів викиду вуглецю та валових викидів CO₂ на ТЕС України у 2014—2016 рр. Значення питомих викидів CO₂ на ТЕС знаходяться на рівні 1,1 тCO₂/кВтг.

5. Через необхідність роботи в маневрених режимах середній ККД вугільних енергоблоків України становить близько 31%, тому в останні роки спостерігаються високі питомі витрати умовного палива, які перевищують 400 г/кВтг відпущеної електроенергії, а питомий вихід вуглекислого газу вище 1,1 кг/кВтг. Стратегія боротьби щодо зменшення викидів CO₂ в енергетиці має полягати у широкому впровадженні екологічно чистих енергоефективних, енергоощадних і низьковуглецевих технологій, в тому числі підвищенні ефективності використання енергії угля.

Література

1. Проект Стратегії низьковуглецевого розвитку України до 2050 року / Міністерство екології та природних ресурсів України. 2017. 51 с.

2. Annual National Inventory Report for Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol / Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. 2018. 519 p.

3. Угода про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони. *Офіційний вісник України*. 2014. Том 1, № 75. С. 83.

4. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 7 грудня 2016 року № 932-р «Концепція реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року». *Офіційний вісник України*. 2016. № 99. С. 269.
5. Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council of 13 October 2003 establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community and amending Council Directive 96/61/EC. *Official Journal*. 2003. L 275. P. 32—46.
6. Вольчин І.А., Гапонич Л.С. Розрахунок параметрів димових газів вугільних теплових електростанцій на основі характеристик твердого палива. *Енерготехнології и ресурсосбережение*. 2016. № 1. С. 49—55.
7. Volchyn I., Haponych L. Engineering method for calculating the parameters of flue gas parameters of coal-fired thermal power plants based on solid fuel characteristics. *Ukrainian Journal of Food Science*. 2016. Volume 4, Issue 2. P. 327—338.
8. ГКД 34.02.305 2002. «Викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря від енергетичних установок. Методика визначення». Київ: ОЕП «ГРІФРЕ», 2002. 42 с.
9. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016. Technical guidance to prepare national emission inventories. *EEA Report*. 2016. No 21. 26 p.
10. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 2: Energy. Chapter 2: Stationary Combustion. IPCC, 2006. 47 p.
11. Volchyn I., Haponych L. Estimate of the sulfur dioxide concentration at thermal power plants fired by donetsk coal. *Power Technology and Engineering*. 2014. Vol. 48, No. 3. P. 218—221.
12. Инвентаризация парниковых газов в теплоэнергетике Украины: особенности проведения инвентаризации парниковых газов в теплоэнергетической отрасли / Ю.П. Корчевой, И.А. Вольчин, А.М. Коломиец, Н.В. Парасюк, А.А. Потапов. *Энергетика и электрификация*. 2002. № 6. С. 46—51.
13. Phillips J.N., Wheeldon J.M. Economic Analysis of Advanced Ultra-Supercritical Pulverized Coal Power Plants: A Cost-Effective CO₂ Emission Reduction Option? Proceedings from the Sixth International Conference «Advances in Materials Technology for Fossil Power Plants». Santa Fe, New Mexico, USA. 2010. P. 53—64.
14. Динамика развития коэффициентов выбросов углерода при производстве электрической энергии. Исследование базового уровня выбросов в Украине. Заключительный отчет. Европейский банк реконструкции и развития. 2010. 41 с.
15. Перспективи впровадження чистих вугільних технологій в енергетику країни / І.А. Вольчин, Н.І. Дунаєвська, Л.С. Гапонич, М.В. Чернявський, О.І. Топал, Я.І. Засядько. Київ: ГНОЗІС, 2013. 310 с.

CONDUCTIVITY OF THE JUNCTION: D-WAVE PAIRING SUPERCONDUCTIVE GRAPHENE — NORMAL GRAPHENE WITH DIFFERENT FERMİ VELOCITY

A. Korol, N. Medvid, V. Vyshniak, S. Litvynchuk

National University of Food Technologies

Key words:

Graphene
Superconductivity
Fermi velocity
Conductivity

Article history:

Received 14.11.2018
Received in revised form
30.11.2018
Accepted 17.12.2018

Corresponding author:

A. Korol
E-mail:
korolam@ukr.net

ABSTRACT

The conductivity of the normal graphene — d-wave superconductive graphene junction is calculated within the framework of the Blonder-Tinkham-Klapwijk formalism [1]. The eigenfunctions, the Andreev and the normal reflection rates are evaluated by solving the Dirac-Bogoliubov-de Gennes equations. The Fermi velocity is believed to be different in the normal and in the superconductive regions [2]. We considered the case of the gapped graphene.

Along with the s-wave pairing considered in the papers [16—17] there may take place the unconventional order parameters such as *d*-wave, *p*-wave and even *f*-wave superconductivity [17]. It is clear that the transport in the structures which are described by the non-isotropic pairing symmetry may essentially differ from that of s-pairing. It is demonstrated in this work that for the d-wave superconductivity the characteristics of the considered junction are sensitive to the value of $z = v_n / v_s$, where v_n , v_s are the Fermi velocities in the normal and the superconductive graphene respectively. This conclusion refers to the Andreev reflection as well as to the normal one. The first of them is shown to be the dominant process for the formation of the conductivity. These results are true for an arbitrary value of the orientational angle of the *d*-waves. The dependence of the conductivity on the external electrostatic potential as well as on the Fermi energy is also analyzed. The conductivity $G(E)$ is calculated taking into account the fact that the external potential U is applied to the superconductive part of the given structure.

A characteristic feature of the $G(E)$ dependence is the presence of a peak at the energy point which depends on the value of the rotational angle. The value of the maximum (peak) value of $G(E)$ curve steepness essentially depends on the value of the Fermi velocity v_F . The dependence of the conductivity on the potential U as well as on the Fermi level EF is analyzed for different values of the rotational angle. The obtained results may be useful for applications in the graphene-based electronics.

ПРОВІДНІСТЬ КОНТАКТУ: НАДПРОВІДНИЙ ГРАФЕН ІЗ D-ХВИЛЬОВИМ СПАРЮВАННЯМ — НОРМАЛЬНИЙ ГРАФЕН ІЗ РІЗНИМИ ШВИДКОСТЯМИ ФЕРМІ

А.М. Король, Н.В. Медвідь, В.В. Вишняк, С.І. Літвинчук

Національний університет харчових технологій

У рамках формалізму Блондера-Тинкхема-Клапвійка розраховується провідність контакту: нормальний графен — d-хвильовий надпровідний графен. Власні функції, коефіцієнти андріївського та нормального відбивання обчислюються за допомогою розв'язування рівняння Дірака-Боголюбова-де Жена. Вважається, що швидкості Фермі набувають різних значень в нормальній і надпровідній областях. Розглядається випадок цільового графена.

Крім s-хвильового спарювання, яке розглядалось у [16; 17], можливими є також неконвенційні параметри порядку, такі як d-хвильова, p-хвильова і навіть f-хвильова надпровідності. У статті показано, що характеристики контакту для d-хвильової надпровідності є вельми чутливими до значення $z = v_n / v_s$ де, v_n та v_s — швидкості Фермі в нормальній і надпровідній областях відповідно. Цей висновок стосується як андріївського, так і нормального відбивання. Показано, що перше з них є домінуючим процесом у формуванні провідності. Одержані результати є правильними для довільного значення орієнтаційного кута d-хвиль. Також розраховано і проаналізовано залежність електропровідності від зовнішнього електростатичного потенціалу та від енергії Фермі. Провідність $G(E)$ розраховано з урахуванням того факту, що зовнішній електричний потенціал прикладено до надпровідної частини контакту, що розглядається.

Характерною рисою залежності провідності від енергії Фермі квазі-електронів $G(E)$ є наявність максимальних значень (піків) у залежності $G(E)$. Крім того, крутизна кривих $G(E)$ істотно залежить від значення швидкості Фермі v_F . Проаналізовано залежність провідності від зовнішнього електростатичного потенціалу, а також від енергії Фермі для різних значень ротаційного кута. Одержані результати можуть бути корисними в пристроях електроніки на основі графену.

Ключові слова: графен, надпровідність, швидкість Фермі, провідність.

Introduction. In recent years, much attention has been paid to the study of graphene and various graphene-based structures. This is due to non-trivial properties of graphene, such as a linear dispersion law for the quasi-particles, whose behavior at low energies is described by an equation similar to the Dirac-Weyl one, unusual quantum Hall effect, the property of chirality, the Klein tunneling, high mobility, ballistic transport etc. [1, 2]. It should also be borne in mind that graphene is a promising material in modern electronics in terms of replacing the silicon technology, the development of which has reached its limit, for the graphene one. One of the priority directions is to study the various possibilities of controlling the energy spectrum of the graphene-based structures.

Recently one new method for this purpose was proposed. The Fermi velocity of charge carriers in these structures is made to vary in space by some special techniques, e.g. by placing a grounded metal plane close to graphene sheet (which makes electron-electron interactions weaker and thereby modifies the Fermi velocity), by the appropriate doping, imprinting on graphene a lateral superlattice with hexagonal symmetry. The electron-wave propagation in the graphene-based structures with the tunable Fermi velocity was investigated in [3—11] including the effect of the magnetic and the electric field. At the same time the pristine graphene can also be induced by the external forces to become the superconducting material, for example, superconductivity can be induced in a graphene layer in the presence of a superconducting electrode near it due to the proximity effect. That's why a lot of works were devoted to exploring of the properties of such structures as the graphene — superconductive graphene, graphene — insulator-superconductive graphene, graphene-based Josephson junctions. However, the effect of tuning of the Fermi velocity on the characteristics of these contacts has not been investigated so far. Motivated by these circumstances, in the previous article [15] we have considered the normal graphene-superconductive graphene (NG-SG) contact with various values of the Fermi velocity and analyze its transmission properties. At the same time it is proper to note that along with the s-wave pairing considered in [16—17] there may take place the unconventional order parameters such as d-wave, p-wave and even f-wave superconductivity [17]. It is clear that the transport in the structures which are described by the non-isotropic pairing symmetry may essentially differ from that of s-pairing. That's why, in this paper, we analyze the transmission properties of the normal graphene-*d*-wave superconductor junction with the different Fermi values in the superconductor.

Model and formulae. Let the normal and the superconductive parts of the junction studied are placed along the Ox axis so that their interface locates at a point $x = 0$. We modeled the *d*-wave pairing with the help of the so called $d_{x^2-y^2}$ model so that the superconducting order parameter is of the form

$$\Delta_s = \Theta(x)e^{i\varphi}\Delta\cos(2_s - 2\alpha). \quad (1)$$

Where $\Theta(x)$ is the Heaviside unit step function, φ is the superconductive phase, Θ_s angle of incidence of the quasiparticles, α the rotational angle. The eigenfunctions which describe the quasiparticle in this system are subjected to the Dirac-Bogolyubov-de Jennes equation

$$\begin{bmatrix} H - U(x) & \Delta(x) \\ \Delta^*(x) & -H + U(x) \end{bmatrix} \Psi(x) = E\Psi(x). \quad (2)$$

Where $H = -i\hbar v_F (\sigma_x \partial_x + \sigma_y \partial_y)$ is the Dirac Hamiltonian, U the external electrostatic potential applied to the superconducting region, v_F the Fermi velocity, σ_x , σ_y Pauli matrices for the pseudospin. The solution of the equation (2) is the four-component electron and hole spinors which are of the following form:

- in NG region

$$\Psi_N(x) = \begin{pmatrix} 1 \\ e^{i_N} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} e^{ik_{Ne}x} + r_n \begin{pmatrix} 1 \\ -e^{-i_N} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} e^{-ik_{Ne}x} + r_a \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \\ e^{i_N} \end{pmatrix} e^{-ik_{Nh}x}; \quad (3)$$

- in SG region

$$\Psi_S(x) = t \begin{pmatrix} 1 \\ e^{i_S} \\ e^{-i\beta} e^{-i\varphi} \\ e^{i_S} e^{-i\beta} e^{-i\varphi} \end{pmatrix} e^{ik_S x - kx} + t' \begin{pmatrix} 1 \\ -e^{-i_S} \\ e^{i\beta} e^{-i\varphi} \\ -e^{-i_S} e^{i\beta} e^{-i\varphi} \end{pmatrix} e^{-ik_S x - kx}; \quad (4)$$

$$k_{Ne(h)} = \frac{\cos\Theta_{Ne(h)}}{v_{FN}} \sqrt{[E_{FN} + (-)E]^2 - \Delta_N^2};$$

$$k_S = (E_{FN} + U) \frac{\cos\Theta_S}{v_{FS}};$$

$$k^{-1} = \frac{v_{FS}^2 k_S}{(U + E_{FN}) \Delta_S \sin\beta};$$

$$\beta = \cos^{-1}\left(\frac{E}{\Delta_S}\right) \text{ if } |E| < \Delta_S;$$

$$\beta = -i \cosh\left(\frac{E}{\Delta_S}\right) \text{ if } |E| > \Delta_S.$$

Units $\hbar = v_0 = 1$ are adopted, v_0 being the Fermi velocity in the pristine graphene.

The coefficients in (3, 4) can be found by applying the following appropriate boundary conditions on the wavefunctions:

$$\sqrt{v_{FN}} \Psi_N(x=0) = \sqrt{v_{FS}} \Psi_S(x=0). \quad (5)$$

As a result we obtain for the coefficients of the Andreev and normal reflections respectively:

$$r_a(E, \Theta_N, E_{FN}, U) = \frac{v(E) u(E) e^{-i\varphi} A_5(\Theta_N, E_{FN}, U) A_6(\Theta_N, E_{FN}, U)}{B(E, \Theta_N, E_{FN}, U)} \quad (6)$$

$$r_n(E, \Theta_N, E_{FN}, U) = A_7(\Theta_N, E_{FN}, U) \left[\frac{A_7(\Theta_N, E_{FN}, U) u(E)^2 + A_8(\Theta_N, E_{FN}, U) v(E)^2}{B(E, \Theta_N, E_{FN}, U)} \right]^{-1} \quad (7)$$

where we account for the condition

$$E_{FN}, \Delta_N \gg E, \Omega$$

and we use the following significations:

$$\begin{aligned} \Omega &= \sqrt{E^2 - |\Delta \cos(2_S - 2\alpha)|^2} \\ u(E) &= \sqrt{0,5 \left(1 + \frac{\Omega(E)}{E} \right)}, \quad v(E) = \sqrt{0,5 \left(1 - \frac{\Omega(E)}{E} \right)} \\ A_N(\Theta_N, E_{FN}, U) &= \frac{E_{FN} - \Delta_N}{v_{FN} k_N(\Theta_N, E_{FN})} e^{i\Theta_N} \\ A_{N_-}(\Theta_N, E_{FN}, U) &= \frac{E_{FN} - \Delta_N}{v_{FN} k_N(\Theta_N, E_{FN}, U)} e^{-i\Theta_N} \\ A_S(\Theta_N, E_{FN}, U) &= \frac{E_{FN} + U - \Delta_N}{v_{FS} k_S(\Theta_N, E_{FN}, U)} e^{i\Theta_S} \\ A_{S_-}(\Theta_N, E_{FN}, U) &= \frac{E_{FN} + U - \Delta_N}{v_{FS} k_S(\Theta_N, E_{FN}, U)} e^{-i\Theta_S} \\ A_1(\Theta_N, E_{FN}, U) &= A_{N_-}(\Theta_N, E_{FN}, U) + A_S(\Theta_N, E_{FN}, U) \\ A_2(\Theta_N, E_{FN}, U) &= A_N(\Theta_N, E_{FN}, U) + A_{S_-}(\Theta_N, E_{FN}, U) \\ A_3(\Theta_N, E_{FN}, U) &= A_{N_-}(\Theta_N, E_{FN}, U) - A_{S_-}(\Theta_N, E_{FN}, U) \\ A_4(\Theta_N, E_{FN}, U) &= A_N(\Theta_N, E_{FN}, U) - A_S(\Theta_N, E_{FN}, U) \\ A_5(\Theta_N, E_{FN}, U) &= A_{N_-}(\Theta_N, E_{FN}, U) + A_N(\Theta_N, E_{FN}, U) \\ A_6(\Theta_N, E_{FN}, U) &= A_S(\Theta_N, E_{FN}, U) + A_{S_-}(\Theta_N, E_{FN}, U) \\ A_7(\Theta_N, E_{FN}, U) &= A_{N_-}(\Theta_N, E_{FN}, U) + A_N(\Theta_N, E_{FN}, U) \\ A_8(\Theta_N, E_{FN}, U) &= A_S(\Theta_N, E_{FN}, U) - A_N(\Theta_N, E_{FN}, U) \\ B(E, \Theta_N, E_{FN}, U) &= u(E)^2 A_1(\Theta_N, E_{FN}, U) \times \\ &\times A_2(\Theta_N, E_{FN}, U) - v(E)^2 A_3(\Theta_N, E_{FN}, U) A_4(\Theta_N, E_{FN}, U) \\ k_N(\Theta_N, E_{FN}) &= \cos(\Theta_N) \sqrt{E_{FN}^2 - \Delta_N^2} \frac{1}{\sqrt{v_{FN} v_{FS}}} \\ k_S &= \frac{1}{\sqrt{v_{FM} v_{FS}}} \sqrt{(E_F + U + \Omega)^2 - \Delta_N^2} \end{aligned} \tag{8}$$

Angles of incidence of the quasiparticle wave on the normal and the superconductive regions of the junction considered are associated by the following condition

$$k_N \sin \Theta_N = k_S \sin \Theta_S$$

The conductivity G of the junction investigated can be found due to known Blonder-Tinkham-Klapvijk formalism [12] which expresses G in terms of r_a and r_n :

$$G(E, E_{FN}, U) = G_0 \int_0^{\frac{\pi}{2}} [1 + |r_a(E, \Theta_N, E_{FN}, U)|^2 - |r_n(E, \Theta_N, E_{FN}, U)|^2] \cos(\Theta_N) d\Theta_N \quad (9)$$

where G_0 is the ballistic conductivity of the normal graphene [14]. The equation (9) yields the conductivity of the structure under consideration for arbitrary parameter values.

Results and Discussion. We put the angle of incidence of the quasiparticle wave on the normal region to be equal to $\pi/6$ throughout the text, the superconductive parameter $\Delta_s = 0.0025$. First of all, we must note that the conductivity of this system G^* reveals a complicated dependence on its parameters and the results of calculation of G^* essentially depends on the interplay between the parameters such as the Fermi velocity in the normal and the superconducting regions (ratio v_{FN}/v_{FS}), the magnitude of a gap in the normal area Δ_N , an external electrostatic potential U , the Fermi energy E_F .

Fig.1 shows the dependence of the normal, the Andreev reflection, and also of the normalized (dimensionless) conductivity $G^* = G/G_0$ on the dimensionless energy of quasiparticles $E' = E/\Delta_s$ in the case in which a normal part of the considered contact is the gapped graphene ($\Delta_N = 1$), the value of the rotational angle α is equal to $\pi/6$

Since the qualitative behavior of the dependencies on energy for both the normal and the Andreev reflections are similar for all of the following figures we present further, starting from Fig. 2, only the dependence on energy for the conductivity of the system examined. There is a significant functional dependence of conductivity on the potential U , as well as on the Fermi level E_F . Because of this, in subsequent figures, we present the results of our calculations for two different values of U , namely $U_1 = 0$ and $U_2 = 100$. (Note that the conductivity of the system which includes the gapless graphene is independent of variables U and E_F). It is seen from Fig. 1 that the functions $r_a(E)$ and $r_n(E)$, i.e. the rates of the Andreev and the normal reflection respectively have the peak-like extremes not at the energy point equal to the width of the superconducting gap $E = \Delta_s$, as it is for the case of the s-wave symmetry, but there is a substantial shift of this peak to

lesser excitation energies due to the non-zero value of α . It is true for arbitrary values of the potential U . However, the behavior of the Andreev and the normal reflection rates has the opposite character, namely the function $r_a(E)$ increases with energy E from zero and reaches a maximum; instead the function $r_n(E)$ decreases with E increasing, reaches a minimum value at the same energy point, and then grows. The value of conductivity $G^*(E)$ is mainly determined by the Andreev reflection process and the shape of the corresponding curve is similar to that of the function $r_a(E)$. We would like to emphasize here two important facts: 1) conductivity depends on the potential U (unlike for the case where $\Delta_N = 0, v_{FS} = 1$; 2) increasing in potential U leads to higher values of the conductivity unlike for the case of identical values Fermi velocity in N and S contact regions ($v_{FS} = v_{FN} = 1, \Delta_N \neq 0$). This behavior is due to the process of the Andreev reflection. Note also that the conductance increases with decreasing of the Fermi velocity in the superconducting region v_{FS} .

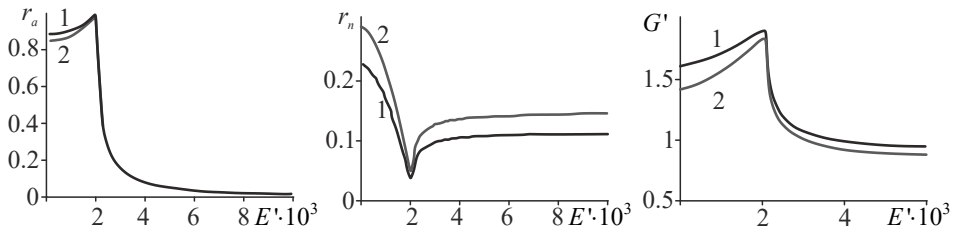


Fig. 1. Plots of $r_a(E')$, $r_n(E')$, $G^*(E')$ dependencies for the gapped normal region with the values of $\Delta_N = 1$, $v_{FS} = 1.5$, $\alpha = \pi/6$. Curves 1, 2 refer to values of $U = 0, 100$ respectively, $E_F = 10$

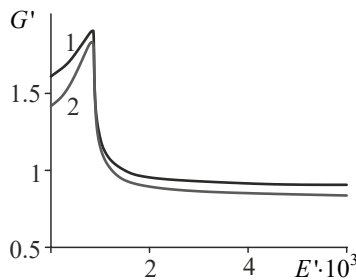


Fig. 2. The dependence of the conductivity on energy for $\alpha = \pi/4$, $\Delta_N = 1$, $v_{FS} = 1.5$. Curves 1, 2 refer to values of $U = 0, 100$ respectively, $E_F = 10$

Fig. 2 presents the conductivity as a function of energy for the value of α which is equal to $\pi/4$. Here the shift of the maximum peak is essentially larger than for the case of $\alpha = \pi/6$: hence the shift of the observed curves is very sensitive to values of the rotational angle in the d-wave pairing.

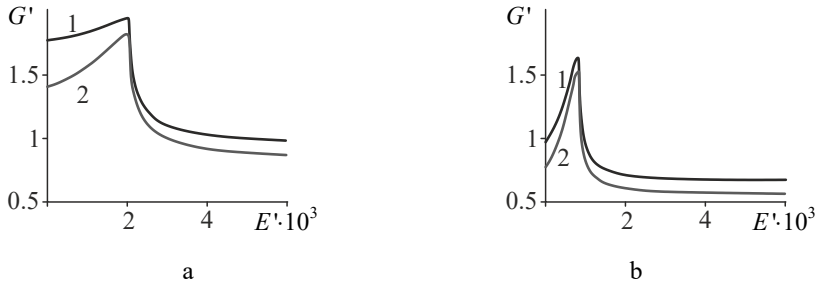


Fig. 3a, b The dependence of the conductivity on energy for the following values of the difference between the Fermi velocities in the normal and the superconductor areas: $v_{FS}=1.2$, $\alpha = \pi/6$ for Fig. 3a, and $v_{FS}=2$, $\alpha = \pi/4$ for Fig. 3b. Curves 1, 2 refer to values of $U = 0, 100$ respectively, $E_F = 10$

Fig. 3, presents the G vs E function for the following values of the difference between the Fermi velocities in the normal and the superconductor areas: $v_{FS}=1.2$, $\alpha = \pi/6$ for Fig. 3a, and $v_{FS}=2$, $\alpha = \pi/4$ for Fig. 3b.

We see from the Fig(s) 1-3 that the larger is the difference between the Fermi velocities in the normal and the superconductor areas, the more substantial effect on the conductivity we observe. For all the cases considered in which $v_{FS} \neq v_{FN}$, the magnitude of conductivity has a peak-like maximum at a point that depends on the value of α ; the maximum value of G^* grows with v_{FS} decreasing independently on α (if $v_{FS} > v_{FN}$).

In Fig. 4, the function $G(E)$ is plotted for the case of bigger gap in the normal region $\Delta_N = 2$. For larger values of Δ_N , there is an interesting result: the conductivity reveals the non-monotonic dependence on the Fermi velocity values in the superconductors region v_{FS} . In this case, contrary for the case of smaller values Δ_N the conductivity increases with increasing v_{FS} , then reaches its maximum at the value v_{FS} which is approximately the same for different values of α , then lessens; the location of the maximum essentially depends on α .

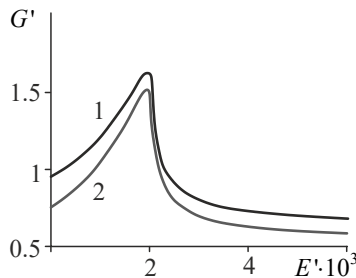


Fig. 4. The dependence of the conductivity on energy for the case of bigger gap in the normal region $\Delta_N = 2$; $\alpha = \pi/6$, $v_{FS}=1.5$. Curves 1, 2 refer to values of $U = 0, 100$ respectively, $E_F = 10$

Fig. 5 illustrates the dependence of the conductivity on energy for the Fermi level E_F , equal to 50. Comparing this figure with the previous ones we see that the function $G(E)$ depends substantially on E_F and it is true for an arbitrary value of α . Decreasing in E_F leads to the increased conductivity and not to its decreasing as for the case $v_{FS} = 1, \Delta_N \neq 0$. The conductivity becomes practically independent on U for sufficiently large values of E_F (see Fig. 5).

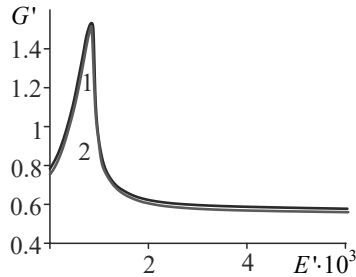


Fig. 5. The dependence of the conductivity on energy for the case of large value of $E_F = 50$; $v_{FS} = 1.5, \alpha = \pi/6$. Curves 1, 2 refer to values of $U = 0, 100$ respectively

Considering the case of the junction studied with the gapless normal graphene we must note the following. Independently of values of α the conductivity does not depend on energy in the region where $E < \Delta_S$ — as for the case of s-pairing. The larger is the difference between the Fermi velocities in the normal and the superconductor areas, the more substantial effect on the conductivity we observe for each value of α . As for the case of the gapped normal graphene, for all the cases considered in which $v_{FS} \neq v_{FN}$, the magnitude of conductivity has a peak-like maximum at a point $E = \Delta_S$; the maximum value of G^* grows with v_{FS} decreasing (if $v_{FS} > v_{FN}$). The function $G(E)$ is independent on the external potential U for the case $\Delta_N = 0, v_{FS} \neq 1$.

Conclusions

The following nanoscale structure is considered: the d-wave pairing superconducting graphene in contact with the normal graphene. It is believed that the Fermi velocity value in the superconducting graphene may differ from that in the pristine graphene. With the help the Blonder-Tinkham-Klapwijk formalism, the conductivity G is calculated taking into account the fact that the external potential U is applied to the superconducting part of the given structure. The coefficients of both the normal and the Andreev reflection are evaluated within the framework of the Dirac-Bogoliubov-de Gennes equations. It is shown that the determining factor in the formation of the conductivity is the process of the Andreev reflection. A characteristic feature of the $G(E)$ dependence is the presence of a peak at the energy point which depends on the value of the rotational angle. The value of the maximum (peak) value of $G(E)$, as well as the $G(E)$ curve steepness essentially

depends on the value of the Fermi velocity v_F . The dependence of the conductivity on the potential U as well as on the Fermi level E_F is analyzed for different values of the rotational angle. The obtained results may be useful for applications in the graphene-based electronics

References

1. Geim A., Novoselov K. The rise of graphene. *Nature Materials*. 2007. No. 6. P.183—191.
2. Castro Neto A., Guinea F., Peres N., Novoselov K., Geim A. The electronic properties of graphene. *Rev. Mod. Phys.* 2009. No. 81. P. 109—162.
3. Lei Liuab, Yu-Xian Li, Jian-Jun Liu Transport properties of Dirac electrons in graphene based double velocity-barrier structures in electric and magnetic. *Physics Letters A*. 2012. Vol. 376. No. 45. P. 3342—3350.
4. Wanga Y., Liub Y., Wang B. Resonant tunneling and enhanced Goos-Hänchen shift in a graphene double velocity barrier structure. *Physica E*. Vol. 53. 2013. P. 186—192.
5. Sun L., Fang C., Liang T. Novel Transport Properties in Monolayer Graphene with Velocity Modulation. *Chin. Phys. Lett.* 2013. Vol. 30. No. 4. P. 047201-1—047201-4.
6. Arnaud R., Marco P., Reza A., Hamilton A., Rosario F., MacDonald A. Velocity-modulation control of electron-wave propagation in graphene. *Phys. Rev. B*. 2010. Vol. 81. P. 073407-1—073407-4.
7. Concha A., Tešanović Z. Effect of a velocity barrier on the ballistic transport of Dirac fermions. *Phys. Rev. B*. 2010. Vol. 82. P. 033413-1—073407-4.
8. Yuan. J., Zhang. J., Zeng. Q., Zhang J., Cheng Z. Tunneling of Dirac fermions in graphene through a velocity barrier with modulated by magnetic fields. *Physica B: Condensed Matter*. 2011. Volume 406, Issue 22. 15 November 2011. P. 4214—4220.
9. Krstajic P., Vasilopoulos P. Ballistic transport through graphene nanostructures of velocity and potential barriers. *Journal of Physics Condensed Matter*. 2011. Vol. 23. 135302 (8 pp).
10. Korol A., Medvid N., Litvynchuk S. Transport Properties of the Dirac-Weyl Electrons Through the Graphene-Based Superlattice Modulated by the Fermi Velocity Barriers. *Springer Proceedings in Physics*. 2015. Vol. 167. P. 215—221.
11. Korol A., Sokolenko A., Sokolenko I. The energy spectra of the graphene-based quasi-periodic superlattice. *Low Temperature Physics*. 2018. Vol. 44, No. 8, P.803-809.
12. Blonder G., Tinkham M., Klapwijk T. Transition from metallic to tunneling regimes in superconducting microconstrictions: Excess current, charge imbalance, and supercurrent conversion. *Phys. Rev. B*. 1982. Vol. 25, P. 4515—4532.
13. Goudarzi H., Sedghi H., Khezrou M. Mabhouti K., Tunneling conductance in gappedgraphene-based normal metal-insulator-superconductor junctions: case of massive Dirac electron. *Physica C: Superconductivity*. 2010. Vol. 470, No. 22. P. 1981—1985.
14. Bhattacharjee S., Sengupta K. Tunneling Conductance of Graphene NIS Junctions. *Phys. Rev. Lett.* 2006. PRL 97, P. 217001-1—217001-4.
15. Korol A., Litvynchuk S., Medvid N., Isai V. The Effect of the Fermi Velocity on the Conductivity of the Graphene-Superconductive Graphene Junction. *Nanophysics, Nanomaterials, Interface Studies, and Applications: Selected Proceedings of the 4th International Conference Nanotechnology and Nanomaterials (NANO)*, August 24—27. 2016. Lviv, Ukraine. P. 383—393.
16. Goudarzi H., Khezrou M. Tunneling conductance in a gapped graphene-based normal metal-insulator-d-wave superconductor junction: Case of massive Dirac electrons *Physica*. 2010. Vol. 43, No. 2. P. 604—609.
17. Linder J., Sudbo A. Dirac-fermions and conductance-oscillations in (s,d)-wave superconductor/normal graphene junctions. *Phys. Rev. Lett.* 2007. PRL 99. P.147001-1—147001-4.

PROSPECTS OF USAGE OF PEA PROTEIN ISOLATE IN BUTTERY PASTES TECHNOLOGY

O. Kochubei-Lytvynenko, V. Pasichnyi, N. Yushchenko, O. Yatsenko,
U. Kuzmyk

National University of Food Technologies

Key words:

*Buttery paste
Vegetable albumen
Pea protein isolate
Strain rate*

Article history:

Received 09.11.2018
Received in revised form
23.11.2018
Accepted 10.12.2018

Corresponding author:

O. Kochubei-Lytvynenko
E-mail:
okolit@email.ua

ABSTRACT

For formation of appropriate structure of buttery pastes, which are characterized by high moisture content and provision of their stability during storage, search for effective natural functional and technological components is relevant. Proteins are among them, they would not only perform technological functions, but also serve as additional enriching component.

Pea protein isolate holds a specific place among other vegetable proteins, as it has sufficiently balanced amino acid composition; almost completely deprived of taste and smell, common to legumes; does not contain antinutrients; has high water binding capacity and emulsifying characteristics; is not included to a group of products, that may cause allergy. The digestion rate of the isolate is approximately 98%.

Isolate should be previously mixed with skimmed milk, water rational value was determined as 1:8, which allows to provide protein hydration and deployment of its space structure. Practicability of pea protein isolate hydration during 24 hours at a temperature $(6\pm 2)^{\circ}\text{C}$ was proved; that would allow to obtain a homogeneous system with a higher indicator of stress gradient, rather than without holding. Upon the indicator of limit stress through variable strain rate of model samples, the technological parameters of pea protein isolate processing were determined: temperature $(82\pm 2)^{\circ}\text{C}$, process duration — 10...15 minutes with consequent cooling to $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$. It was determined, that jellies based on pea protein isolate are flexible systems and have enough firmness and thixotropic properties. It was suggested to produce buttery pastes through mixing hydrated pea protein isolate and a fatty base with consequent mechanical processing to obtain homogeneous mass. Possibility of appending hydrated pea protein isolate into a fatty base in amount under 2.5% without change in organoleptic indicators was established. The necessity of complex stabilization systems creation through production of buttery pastes with pea protein isolate was proved.

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ІЗОЛЯТУ ГОРОХОВОГО ПРОТЕЇНУ У ТЕХНОЛОГІЇ МАСЛЯНИХ ПАСТ

О.В. Кочубей-Литвиненко, В.М. Пасічний, Н.М. Ющенко, О.В. Яценко,
У.Г. Кузьмик

Національний університет харчових технологій

Для формування належної структури масляних паст, що характеризуються підвищеним вмістом вологи, та забезпечення їх стабільності під час зберігання, актуальним є пошук ефективних натуральних функціонально-технологічних компонентів, серед яких — білки, що будуть не тільки виконувати технологічні функції, а й слугувати додатковим збагачуючим компонентом.

Ізолят горохового протеїну займає особливе місце серед рослинних білків, оскільки має достатньо збалансований амінокислотний склад, практично повністю позбавлений смаку і запаху, характерного для бобових, не містить антипоживних речовин, має високі вологозв'язуючі та емульгуючі властивості, не входить до групи продуктів, що можуть викликати алергії. Ступінь засвоєння ізоляту становить близько 98%.

Ізолят попередньо передбачено змішувати зі знежиреним молоком, при цьому раціональне значення гідромодуля — 1:8, що забезпечує гідратацію білка та розгортання його просторової структури. Доведено доцільність гідратації ізолята горохового протеїну протягом 24 годин за температури $(6\pm 2)^{\circ}\text{C}$, що дає змогу отримати гомогенну систему із вищим показником градієнта напруження, ніж без витримування. Визначено технологічні параметри оброблення ізоляту горохового протеїну: температура — $(82\pm 2)^{\circ}\text{C}$, тривалість процесу — 10...15 хвилин, подальше охолодження — до $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$. З'ясовано, що гелі на основі ізоляту горохового протеїну є пластичними системами, мають достатню міцність і тиксотропні властивості. Запропоновано виробляти масляні пасту змішуванням гідратованого ізоляту горохового протеїну із жировою основою з подальшим механічним обробленням до отримання гомогенної маси. Встановлено можливість введення ізоляту горохового протеїну до жирової основи у кількості до 2,5% без змін органолептичних показників. Доведено необхідність створення комплексних стабілізаційних систем при виробництві масляних паст з ізолятом горохового протеїну.

Ключові слова: *масляні пасту, рослинні білки, ізолят горохового білка, швидкість деформації.*

Постановка проблеми. Масляні пасту — емульсійні молочні продукти, що часто позиціонуються на споживчому ринку як більш низькокалорійні аналоги вершкового масла за достатньо невисокого вмісту жиру — від 40,0 до 49,9%. Для формування належної структури масляних паст з підвищеним вмістом вологи та забезпечення їх стабільності під час зберігання актуальним

є пошук ефективних натуральних функціонально-технологічних компонентів і комплексних стабілізаторів структури.

Перспективним є використання білків — молочного, концентрату сироваткових білків і рослинних білків, зокрема сої, коноплі, гороху, що будуть не тільки виконувати технологічні функції, а й слугувати додатковим збагачуючим компонентом.

Ізолят горохового протеїну займає собливе місце серед рослинних білків, оскільки має достатньо збалансований амінокислотний склад, практично повністю позбавлений смаку і запаху, характерного для бобових, не містить антипоживних речовин, має високі вологозв'язуючі та емульгуючі властивості [1; 2].

Крім того, при виділенні ізоляту горохового білка не використовують хімічні речовини, а виробництво складається тільки із сухого (очищення, розмелювання) та вологого (сепарація, фільтрація) процесів обробки сировини тощо [3; 4]. Під час виробництва здійснюється екстрагування водою, без використання органічних розчинників.

Перспективним напрямом наукових досліджень є наукове обґрунтування використання ізоляту горохового протеїну у складі рецептур масляних паст з урахуванням його біологічної цінності, функціонально-технологічних характеристик і безпечності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Науковцями Національного університету харчових технологій розроблено технологію масляної паст, стабілізованої білково-полісахаридним комплексом [5]. Основу стабілізаційної системи складали молочні білки. З метою підвищення ефективності системи до її складу вводились полісахариди — активні структуроутворювачі. Безперечно, молочні білки є найбільш біологічно повноцінними. Їх поєднання із жировою основою у складі масляних паст є більш органічним. Але з огляду на економічну складову (рослинні білки мають у 3—4 рази нижчу вартість) використання рослинних білків заслуговує на увагу.

З аналізу досліджень відомо, що гороховий білок як інгредієнт має безліч переваг порівняно з іншими рослинними білками. А саме: є функціональним інгредієнтом — володіє волого- і жирозв'язуючими властивостями та має нейтральний смак, засвоюваність такого білка становить близько 98%. Його емульгуюча здатність дає змогу створити необхідну текстуру продукту, стійку до теплової обробки під час технологічного процесу. Ізолят горохового протеїну є концентрованим джерелом легкозасвоюваного білка, його амінокислотний склад наближений до «ідеального білка» порівняно з іншими рослинними білками [6; 7].

Вміст незамінних амінокислот білка гороху, якщо порівняти з іншими рослинними білками та «ідеальним білком», наведено у табл. 1.

Таблиця 1. Порівняльна характеристика амінокислотного складу ізоляту білка гороху з молочним та «ідеальним» білком [7; 8]

Назва незамінної амінокислоти	«Ідеальний білок» (ФАО/ВОЗ)	Молочний білок		Ізолят горохового білка	
	мг/ 1 г білка	мг/ 1 г білка	Скор, %	мг/ 1 г білка	Скор, %
1	2	3	4	5	6
Ізолейцин	40	43,3	108,2	45,6	114

1	2	3	4	5	6
Лейцин	70	92,8	132,3	83,7	120
Лізин	55	58,8	117,6	74,9	136
Метіонін+ цистеїн	35	34,0	97,1	23,7	68
Фенілаланін+ тирозин	60	83,5	137	92,4	154
Треонін	40	37,1	92,7	39	98
Валін	50	52,6	105,2	49,3	99

Лімітуючими амінокислотами, подібно до молочного білка, є метіонін з цистеїном. Причому амінокислотний скор за сумою цих амінокислот є дещо нижчим. Слід зазначити, що гороховий протеїн містить до 18% ВСАА (амінокислот з розгалуженим ланцюгом) та, на відміну від білка сої, практично не містить ізофлавонів. Горох не входить до списку продуктів, що можуть викликати алергійні реакції і рекомендується як безалергенне джерело білка.

Мета дослідження: обґрунтувати доцільність використання ізоляту горохового протеїну в технології масляних паст.

Матеріали і методи. Дослідження здійснювали в межах науково-дослідної роботи (НДР) «Наукові засади розроблення ресурсоощадних технологій білоковмісних поліфункціональних концентратів для харчових продуктів цільового призначення» (держреєстрація № 0117U001243), Україна.

Як об'єкт дослідження використовували гідратований ізолят горохового білка (виробник BRAG, Австрія). Модельні зразки готували на основі знежиреного молока (масова частка білка 3,2%). Для цього сухий компонент у визначених умовах досліді кількостях при безперервному перемішуванні додавали до знежиреного молока з температурою $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$.

Надалі модельні зразки при безперервному перемішуванні нагрівали до температури $(82 \pm 2)^\circ\text{C}$ з тривалістю процесу 5, 10 та 15 хв, з подальшим охолодженням до $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$. Більш тривале витримання виявилось недоцільним через втрати вологи під час термічного оброблення.

З метою визначення впливу тривалої гідратації на структурно-механічні властивості модельних систем, після змішування ізоляту горохового білка із знежиреним молоком їх витримували протягом 24 годин за температури $(6 \pm 2)^\circ\text{C}$, далі здійснювали температурне оброблення описаним вище способом.

Готувались модельні зразки за наведеним вище способом, гідромодуль, тобто співвідношення між сухим компонентом (ізолятом горохового протеїну) та гідратуючим середовищем (знежирене молоко), встановлювали як 1:6; 1:8; 1:10.

Реологічні властивості модельних зразків визначали на ротаційному віскозиметрі «Реотест-2» з вимірювальною системою циліндр — циліндр S/N шляхом зняття кривих кінетики деформації (течії) на кафедрі технології м'яса і м'ясних продуктів Національного університету харчових технологій.

Вимірювання проводили за температури 20°C . Вимірювальний циліндр (ротатор) N обирали з таким розрахунком, щоб градієнтний шар розповсюджувався на всю товщину шару продукту, розміщеного в кільцевому зазорі

вимірювального пристрою віскозиметра. Вимірювання напруги зсуву θ (Па) проводили за 12 значеннями градієнта швидкості зсуву γ у діапазоні від 0 до 100 с^{-1} під час прямого і зворотного ходу. Для цього знімали показники α при максимальному куті відхилення стрілки на шкалі приладу [9].

Напругу зсуву (Па) розраховували за формулою:

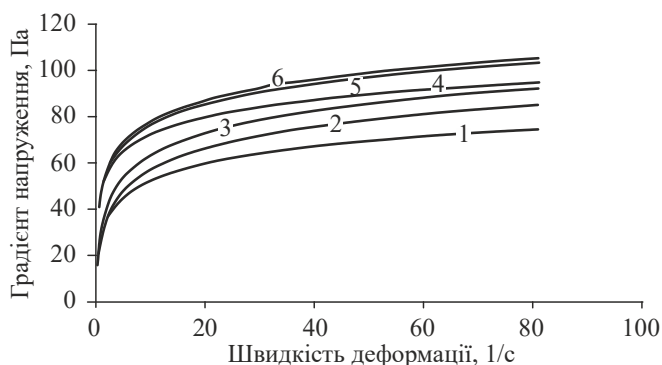
$$\theta = Z \cdot \alpha,$$

де Z — константа циліндра, Па; α — вимірюваний показник, кількість поділок за шкалою приладу.

Поєднуваність ізоляту горохового білка із жировою основою та максимально рекомендована кількість його введення визначалась органолептично. Для цього здійснювалась гідратація ізоляту горохового білка на знежиреному молоці з подальшим тепловим обробленням. Отримували модельні зразки масою по 100 г. Для цього розраховані кількості гідратованої суміші з температурою не вище 22°C змішувалась із жировою основою (вершкове масло масовою часткою жиру 72,5%, води — 25,0%), після чого здійснювалось вимішування до отримання однорідної маси. Зразки охолоджували до температури $(12 \pm 1)^\circ\text{C}$.

Викладення основних результатів дослідження. Оскільки ізолят горохового білка володіє водопоглинальними властивостями, для максимального використання технологічних можливостей цієї добавки необхідним є уточнення режимів гідратації та подальшого введення системи до складу продукту.

Залежність градієнта напруження від швидкості деформації модельних зразків за різного гідромодуля наведено на рисунку.



- 1 — гідратований ізолят;
- 2 — гідратований ізолят з подальшою температурною обробкою;
- 3 — гідратований ізолят з витримкою 24 год;
- 4 — гідратований ізолят з витримкою 24 год та подальшою температурною обробкою тривалістю 5 хв;
- 5 — гідратований ізолят з витримкою 24 год та подальшою температурною обробкою тривалістю 10 хв;
- 6 — гідратований ізолят з витримкою 24 год та подальшою температурною обробкою тривалістю 15 хв.

Рис. Залежність градієнта напруження, гідратованого на знежиреному молоці ізоляту горохового протеїну, від швидкості деформації модельних зразків (гідромодуль 1:6)

Встановлено, що залежність градієнта напруження від швидкості деформації за різних умов підготовки сухого ізоляту є подібною, але абсолютне значення градієнта напруження було вищим для ізоляту, який витримувався у гідратаційному середовищі протягом 24 годин з подальшим тепловим обробленням за температури $(82 \pm 2)^\circ\text{C}$ протягом 10 хвилин. Градієнт напруження був незначно вищим для зразків, підготовлених аналогічним чином, але з термічними обробленням протягом 15 хвилин.

На наступному етапі визначали раціональне співвідношення між ізолятом горохового протеїну та гідратуючим середовищем. Показники градієнта напруження модельних зразків (при сталій швидкості деформації) за змінних значень гідромодуля наведені у табл. 2 (нумерація зразків — відповідно до рисунка).

Таблиця 2. Градієнт напруження модельних зразків при сталій швидкості деформації за змінних значень гідромодуля

Зразок, №	Градієнт напруження, Па							
	Швидкість деформації, 1/с							
	20		40		60		80	
	Гідромодуль							
	1:8	1:10	1:8	1:10	1:8	1:10	1:8	1:10
1	60	58	64	60	70	64	72	68
2	62	58	78	65	82	72	86	78
3	68	62	86	72	86	80	92	82
4	68	62	88	76	92	80	95	84
5	80	70	88	82	98	88	102	94
6	80	72	90	82	98	90	102	96

Встановлено, що показник градієнта напруження модельних зразків, приготованих за гідромодуля 1:6, незначно відрізняється від відповідного показника для зразків, приготованих за гідромодуля 1: 8. Це свідчить про те, що значення гідромодуля 1:6 є недостатнім для гідратації білка та розгортання його просторової структури.

При збільшенні гідромодуля до 1:10 спостерігалось зниження показника градієнта напруження, що є природним при збільшенні вмісту вільної води. Отже, достатнім для гідратації білка є значення гідромодуля 1:8.

На наступному етапі здійснювали порівняльний аналіз органолептичних показників модельних зразків, виготовлених за гідромодуля 1:8 із та без попереднього витримування протягом 24 годин. Встановлено, що зразок, при приготуванні якого суміш витримувалась протягом 24 годин, мав характерний для цього виду рослинної сировини смак і злегка виражений запах, білий із злегка сіруватим відтінком колір та густу, однорідну масу консистенцію. При аналізі зразків, що були вироблені без попереднього витримування перед тепловим обробленням, були виявлені окремі грудочки, що спричиняли появу піщанистої консистенції. Тому витримування суміші перед тепловим обробленням є обов'язковою технологічною операцією підготовки компонента.

Вивчено можливість введення ізолята горохового білка до жирової основи та максимально доцільну кількість його введення.

Кількість доданого до жирової основи ізолята змінювали від 1,0 до 5,0% з інтервалом у 0,5%. Підготовку ізолята горохового білка здійснювали визначеним вище чином.

Встановлено, що із збільшенням кількості ізоляту горохового білка до 2,5% відчутних змін не відбувалось, при підвищенні кількості до 3,0% відчувався слабкий прісний присмак бобових. При збільшенні кількості доданого ізоляту до 4,0% смак ставав більш вираженим, консистенція, хоча і залишалась однорідною, тактильно під час розжовування продукту з'являлось відчуття неоднорідності зразка, зниження відчуття ніжності та пластичності.

Очевидно, така кількість введення ізоляту білка гороху є недостатньою для отримання масляних паст та вимагає додаткового використання стабілізуючих компонентів. Доцільним є створення комплексних стабілізаційних систем із залученням активних структуроутворювачів, які б виявляли ефект синергізму з ізолятом білка гороху.

Висновки

1. Обґрунтовано доцільність використання в технології масляних паст ізолята горохового білка як вологоутримуючого компонента та джерела легкозасвоюваного рослинного білка.

2. Визначено технологічні параметри підготовки ізолята горохового білка: гідратація на знежиреному молоці протягом 24 годин за температури $(6\pm 2)^{\circ}\text{C}$ (гідромодуль 1:8) з подальшим нагріванням до температури $(82\pm 2)^{\circ}\text{C}$ з тривалістю процесу 15 хвилин та охолодженням до $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$.

3. Встановлено можливість введення ізоляту білка гороху до жирової основи у кількості до 2,5% без змін органолептичних показників

4. Доведено необхідність створення комплексних стабілізаційних систем при виробництві масляних паст з ізолятом білка гороху.

Література

1. Магзумован Н.В., Малиновская Е.Е., Келенян М.В. Изучение возможности применения горохового белка при производстве колбас вареной ассортиментной группы. *Харчова наука і технологія*. 2013. № 2. С. 20—22.

2. Осипова Г.А., Корячкина С.Я. Использование белковых изолятов в производстве макаронных изделий. *Современные наукоемкие технологии*. 2006. № 7. С. 91—93.

3. Бруно Ж. Гороховый белок: лучше, чем просто функциональная добавка. *Журнал мясная индустрия*. 2007. Вып. 10. С. 40—41.

4. Волчков А. Влияние изолятов растительных белков на пищевую ценность макаронных изделий. *Хлебопродукты*. 2009. № 1. С. 42—44.

5. Ющенко Н.М., Пасічний В.М., Яценко О.В. Дослідження функціонально-технологічних властивостей білково-полісахаридних комплексів та їх використання у технології масляних паст. *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Гжицького*. 2017. Т. 19, № 75. С. 45—50.

6. Бобков С.В., Уварова О.В. Перспектива использования гороха для производства изолятов запасных белков. *Земледелие*. 2012. № 8. С. 22—25.

7. Грищенко Т.В., Черныш Л.Н., Махинько В.Н. Перспективность и особенности использования изолята горохового белка в хлебопечении. *Мир науки и инноваций*. Ивано-Франковск: Научный мир. 2015. Вып. 2, Т. 4. С. 46—49.

8. Оценка биологической полноценности белков молока / Камиль Аль-Бази Мезхер, В.Г. Прудников, С.О. Шаповалов, И.А. Ионов, Е.В. Руденко. *Науково-технічний бюлетень*. 2013. № 109, Ч. 2. С. 57—63.

9. Pasichnyi V., Yushchenko N., Mykoliv I., Kuzmyk U. Structure Stabilization of Fermented-Milk Pastes. *Ukrainian Food Journal*. 2015. С. 402—410.

IMPROVING THE EFFICIENCY OF DISTILLATION AND RECTIFICATION EQUIPMENT

A. Ukrainets, P. Shiyan, Y. Buliy, A. Kuts

National University of Food Technologies

Key words:

*Plates
Column
Heated steam
Main fraction
Alcohol impurities
Controlled cycles*

Article history:

Received 16.11.2018
Received in revised form
03.12.2018
Accepted 20.12.2018

Corresponding author:

A. Ukrainets
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The effectiveness of the contact devices reduces the inadequate contact time of the vapor and liquid, as well as the mixing of the liquid on adjacent plates. The use of plates with partial compensation of direct flow does not solve the problem.

The authors propose the technology of rectification with controlled cycles of fluid retention on the plates, which allows to change the vapor velocity in the contact element slits by changing the section of the plates in such a way that during the period of fluid overflow the plate becomes leaky.

The purpose of the work was to investigate the effectiveness of contact devices with variable sections in the process of dispersing the main fraction and distilling the mash while increasing the residence time of the liquid on the plates.

The research was conducted in the production conditions of the State Enterprise "Chudnovsky Alcohol Plant". The experimental column was equipped with scales and the contact devices were movable valves, which alternately closed and opened the overflow holes according to the given algorithm. The paper presents the results of studies of the distribution of key volatile impurities of alcohol at the height of the accelerating column. It is proved that with a delay of liquid up to 20 sec. the degree of removal of aldehydes, higher alcohols of fusel oil and methyl alcohol increased by an average of 30%, the multiplicity of concentration of the main and upper intermediate impurities increased by 32%. The delay of the bracket on the plates of the graphic column to 12 sec. leads to an increase in the concentration of braided distillate by 28%.

Extension of the residence time of the liquid on plates of the accelerating column to 20 sec., and the mash column — up to 12 sec. allows to increase the efficiency of contact devices and the degree of separation of alcohol-containing fractions by an average of 30%, as well as reduce the specific costs of heated steam to 32% compared to typical installations.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БРАГОРЕКТИФІКАЦІЙНИХ УСТАНОВОК

А.І. Українець, П.Л. Шиян, Ю.В. Булій, А.М. Куц
Національний університет харчових технологій

Ефективність роботи контактних пристроїв знижують недостатній час контакту пари та рідини, а також перемішування рідини на суміжних тарілках. Використання тарілок з частковою компенсацією прямого потоку не вирішує проблему.

Авторами запропонована технологія ректифікації з контрольованими циклами затримки рідини на тарілках, яка дає змогу змінювати швидкість пари в цілинах контактних елементів завдяки зміні живого перерізу тарілок таким чином, що в період переливу рідини тарілка стає провальною. Для цього було досліджено ефективність роботи контактних пристроїв із змінним живим перерізом у процесах розгонки головної фракції та перегонки зрілої бражки при подовженні часу перебування рідини на тарілках.

Дослідження проводились у виробничих умовах ДП «Чуднівський спиртовий завод». Експериментальна колона була оснащена лускоподібними тарілками, а контактні пристрої — рухомими клапанами, які по чергово закривали та відкривали переливні отвори згідно із заданим алгоритмом.

В статті представлені результати досліджень розподілення ключових летких домішок спирту по висоті розгінної колони. Доведено, що при затримці рідини до 20 с ступінь вилучення альдегідів, вищих спиртів сивушного масла та метилового спирту зростала в середньому на 30%, кратність концентрування головних та верхніх проміжних домішок підвищувалась на 32%. Затримка бражки на тарілках бражної колони до 12 с призводила до підвищення концентрації бражного дистилляту на 28%.

Подовження часу перебування рідини на тарілках розгінної колони до 20 с, а бражної колони — до 12 с дає змогу підвищити ефективність роботи контактних пристроїв та ступінь розділення спиртовмісних фракцій в середньому на 30%, а також скоротити питомі витрати гріючої пари на 32% порівняно з типовими установками.

Ключові слова: тарілки, колона, гріюча пара, головна фракція, леткі домішки спирту, контрольовані цикли.

Постановка проблеми. У брагоректифікаційних установках (БРУ) застосовують тарілчасті контактні пристрої, на яких послідовно здійснюється ступінчастий контакт фаз. Їх ефективність оцінюють за ступенем розділення суміші, що підлягає перегонці, пропускнуою здатністю пари й рідини, діапазоном сталої роботи, питомою витратою гріючої пари для здійснення масообміну тощо. Контактні пристрої повинні відповідати таким вимогам: забезпечувати на поверхні тарілки запас рідини (рідинну затримку), досягнення необхідної роздільної здатності при зміні навантаження за парою або рідиною, малий гідравлічний опір паровому потоку, можливість роботи брагоректифікацій-

ного обладнання в різних адіабатичних умовах, унеможливує винесення рідини з нижніх тарілок на верхні. Мірою оцінки ефективності реальної тарілки є її коефіцієнт корисної дії (ККД), який залежить від конструкції, діаметра, вільного перерізу колони, її навантаження, відстані між тарілками, швидкості пари, фізичних властивостей суміші, що підлягає розділенню тощо. ККД визначають дослідним шляхом. Для більшості тарілок його значення знаходиться в межах від 0,4 до 0,6 [1].

У виробничій практиці відомо сотні різних конструкцій тарілок, які класифікують за способом переливу рідини, способом взаємодії пари й рідини, за характером диспергування контактуючих фаз і конструкцією для вводу пари в рідину. Тарілки можуть бути ґратчастими, ситчастими, лускоподібними, ковпачковими, клапанними, жалюзійними тощо. Підвищення ККД тарілок може бути досягнуто шляхом створення розвинутої поверхні фаз на ступенях контакту та інтенсифікації турбулізації парорідинної суміші [2].

За останні десятиліття запропоновано значну кількість нових контактних пристроїв, особливості яких ще недостатньо досліджені: клапанні тарілки EDV, тарілки Кіттеля, пристрої ударно-розпилювальної дії, кільцеві, лабіринтні пристрої тощо (рис. 1).

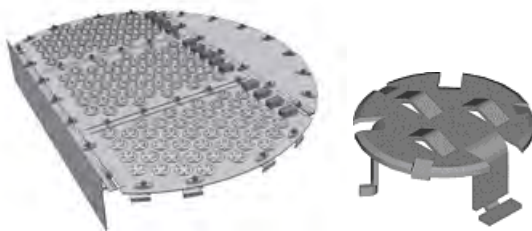


Рис. 1. Клапанні тарілки EDV

Технологічні розрахунки БРУ припускають миттєве перенесення легких компонентів пари та рідини і не враховують інтервал контакту фаз або тривалість перебування потоків на тарілці, необхідну для досягнення стану, близького до рівноважного. Використання тарілок з частковою компенсацією прямого потоку не вирішує проблему. Для повного оновлення міжфазової поверхні на ступенях контакту, ідеального витіснення по парі й рідині, забезпечення максимального насичення пари легколеткими компонентами рідини, а рідини — важколеткими компонентами пари та унеможливлення перемішування рідини на суміжних тарілках необхідною умовою є подовження часу контакту пари та рідини на визначений термін часу та здійснення її циклічного переливу. Час рідинної затримки визначається дослідним шляхом. У вищевказаних умовах зростає рушійна сила процесу масообміну через збільшення градієнта концентрацій легких компонентів, покращуються дифузійні характеристики тарілок і підвищується ефективність їх роботи [3].

Враховуючи вищенаведене, авторами була запропонована технологія ректифікації в режимі роздільного руху фаз, що передбачає контрольовані цикли затримки рідини на тарілках колонного обладнання БРУ і синхронного її переливу з парних і непарних за порядком розташування тарілок у два

послідовних етапи, що повторюються періодично у часі [4]. Для реалізації способу контактні пристрої експериментальної колони були оснащені рухомими клапанами, які почергово закривали та відкривали переливні отвори згідно із заданим алгоритмом. Спосіб дає змогу змінювати швидкість пари у вільному перерізі колони та в щілинах контактних пристроїв завдяки зміні живого перерізу тарілок при сталому тиску в нижній і верхній частинах колони таким чином, що під час переливу рідини тарілка стає провальною.

Загальний вигляд тарілки із змінним живим перерізом, конструкція якої дає змогу подовжити час перебування рідини на її полотні на заданий термін часу, показаний на рис. 2.

Мета статті: дослідження ефективності роботи контактних пристроїв із змінним живим перерізом у процесах розгонки головної фракції (ГФ) спирту етилового та перегонки зрілої бражки, ступеня очищення етилового спирту від супутніх летких домішок та концентрації етанолу в бражному дистиляті при подовженні часу перебування рідини на тарілках розгінної та бражної колон БРУ.

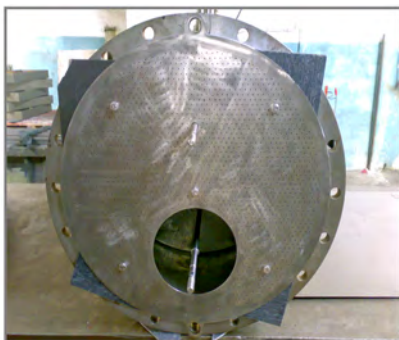


Рис. 2. Тарілка із змінним живим перерізом

Викладення основних результатів дослідження. Експериментальна колона з тарілками із змінним живим перерізом виготовлена співробітниками ТОВ «ГІСЕР» у співпраці з науковцями кафедри біотехнології продуктів бродіння і виноробства Національного університету харчових технологій. Дослідження проводились у виробничих умовах ДП «Чуднівський спиртовий завод».

Для вирішення поставленого завдання колона була оснащена лускоподібними тарілками з коаксіальним розташуванням лусок, що виключало односпрямованість руху рідини. Переливні отвори кожної тарілки почергово відкривали та закривали рухомі клапани, з'єднані з приводними механізмами відповідно до програми контролера [5]. Робочий цикл включав час рідинної затримки (контакту пари та рідини) та час переливу рідини. В кожному робочому циклі відбувалася зміна живого перерізу тарілок від 2,6% в період масообміну до 51,7% в момент переливу рідини з верхніх тарілок на нижні. Під час відкривання переливних отворів швидкість пари миттєво зменшувалась, що призводило до проливу рідини через переливні отвори та щілини лусок. Таким чином час переливу рідини з верхніх тарілок на нижні скорочувався від 5 до 2 сек.

На першому етапі проводили дослідження ефективності роботи контактних пристроїв в процесі вилучення етилового спирту із спиртовмісних фракцій. На тарілку живлення розгінної колони (РК) подавали ГФ спирту етилового разом з сивушною фракцією в кількості 10% від абсолютного алкоголю (а.а.) бражки. На верхню тарілку колони безперервно надходила гаряча пом'якшена вода для гідроселекції летких домішок. Концентрація етилового спирту в кубовій рідині становила 5...6% об. Із конденсатора РК відбирали концентрат головної фракції (КГФ) в кількості 0,15% від а.а. бражки, контролюючи якість ректифікованого спирту. Час затримки рідини на тарілках становив 20 с.

Для проведення хроматографічного аналізу відбирали проби кубової водно-спиртової рідини, флегми, КГФ та проби з рідинної фази 6, 11, 17, 21, 25-ї тарілок через 72 години після зміни режиму роботи колони. Кожну серію дослідів проводили в триразовій повторності з інтервалом між дослідями 24 год. Визначальними обиралися середні величини. Отримані результати представлені в таблиці.

Таблиця. Розподілення ключових летких домішок етилового спирту по висоті РК

Домішки	Концентрація летких сполук по тарілках, мг/дм ³							
	кубова рідина	Номер тарілки					флегма	КГФ
		т. 6	т. 11	т. 17	т. 21	т. 25		
Етиловий спирт, % об.	5,0	13,8	14,1	15,0	11,2	7,0	55,1	68,0
Альдегіди, в т. ч.	0,45	0,21	1,98	3,97	22,31	23,96	1358,53	2046,24
ацетальдегід	0,45	0,21	1,98	3,97	22,31	23,96	1349,72	2032,70
кротоновий	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	8,81	13,54
Естери, в т. ч.	сліди	сліди	сліди	0,97	137,67	83,43	13293,62	16287,51
етилацетат	сліди	сліди	сліди	0,97	128,96	70,97	13247,40	16242,76
етилбутират	сліди	сліди	сліди	сліди	8,71	12,46	46,22	44,75
Сивушне масло, в т. ч.	103,96	441,90	461,29	529,59	688,77	889,82	6168,71	4151,27
н-пропанол	88,27	347,98	349,42	403,85	521,83	618,48	2062,67	1358,02
ізобутанол	6,67	56,22	64,63	77,88	93,42	130,97	2432,19	1766,78
ізопентанол	8,28	36,95	46,41	46,74	71,95	138,24	1642,61	999,87
ізопропанол	0,74	0,75	0,83	1,12	1,57	2,13	31,24	26,54
Метанол, % об.	0,027	0,054	0,102	0,135	0,173	0,189	4,206	1,013

Аналіз отриманих результатів показав, що при подовженні часу перебування рідини на тарілках РК до 20 с проміжні та кінцеві домішки спирту ефективно вилучалися разом з головними. В процесі розгонки найбільшу ступінь вилучення мали естери та альдегіди. Відомо, що домішки більшості естерів надають спирту неприємного запаху — смолисто-гнилісного, прогірклого, затхлого, прілого, кисло-сирного, паленого тощо. Такі домішки, як пропілацетат, етилпропіонат, етилбутират характерні для спирту, виробленого із неякісної зернової сировини. До складу такого спирту можуть входити етилформіат і пропілформіат. Вони надають спирту відтінки від пліснявілих до кисло-смолисто-затхлих запахів. У процесі ректифікації ці домішки вилучити складно, оскільки їх леткість близька до леткості етилового спирту. Зазвичай, кількість естерів у

ректифікованому спирті із крохмалевмісної сировини майже в п'ять разів перевищує суму вищих спиртів та альдегідів.

Як видно із табл. 1, до складу естерів, що містяться в ГФ, входять етилацетат і в меншій кількості етилбутират. Етилбутират надає товарному спирту різкий запах. Практично доведено, що запропонований спосіб забезпечує його повне видалення. Відсутність етилформіату свідчить про відповідну якість зернової сировини.

Альдегіди також характеризуються різким запахом. При взаємодії альдегідів і спиртів утворюються ацеталі та напівацеталі, які, крім ацеталів оцтового, пропіонового та масляного альдегідів, погіршують якість спирту. В ректифікованому спирті допускається наявність ацетальдегіду, який у нормативних кількостях суттєво не впливає на його органолептичні показники.

Кротоновий альдегід, як і акролеїн, відноситься до ненасичених альдегідів, має гострий запах і неприємний смак. В умовах глибокої гідроселекції в режимі циклічної ректифікації кротоновий альдегід повністю видаляється із кубової рідини.

Разом з естерами та альдегідами високий ступінь вилучення мали вищі спирти сивушного масла: ізопропанол, н-пропанол, ізобутанол, ізопентанол та н-бутанол. Ці проміжні домішки разом з метиловим спиртом більше концентрувались у дефлегматорі колони. Відомо, що метиловий спирт утворюється в результаті термічного розпаду пектинових речовин при тепловій обробці сировини та в незначних кількостях в процесі бродіння. Метанол відноситься до кінцевих домішок і, на відміну від головних, вилучається із висококонцентрованих розчинів, в яких вміст етилового спирту становить 60% мас. і більше [1]. Незважаючи на це, отримані практичні результати свідчать про високий ступінь вилучення та кратність його концентрування при використанні запропонованого способу в режимі глибокої гідроселекції.

Витрати гріючої пари ($G_{\text{п}}$) при роботі РК в режимі контрольованих циклів затримки рідини на її тарілках розраховували, виходячи із теплового балансу за витратами води на охолодження та її температурою на вході у конденсатор і після дефлегматора, за формулою:

$$G_{\text{п}} = \frac{G_{\text{в}} C_{\text{в}} (t_2 - t_1)}{r} \cdot 1,05 = 103 \text{ кг/год}, \quad (1)$$

де $G_{\text{в}}$ — витрати води на охолодження, $\text{дм}^3/\text{год}$, $G_{\text{в}} = 1058 \text{ дм}^3/\text{год}$; $C_{\text{в}}$ — теплоємність води, $C_{\text{в}} = 4,19 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$; t_1 — температура води в колекторі, $^{\circ}\text{C}$, $t_1 = 15^{\circ}\text{C}$; t_2 — температура води після дефлегматора, $^{\circ}\text{C}$, $t_2 = 65^{\circ}\text{C}$; r — прихована теплота пароутворення при тиску 101,3 кПа (для води $r = 2256 \text{ кДж}/\text{кг}$); 1,05 — коефіцієнт, який враховує втрати тепла гріючої пари по висоті РК з урахуванням ізоляції її обичайок.

Питому витрату гріючої пари ($G_{\text{п}}^{\text{пит}}$, $\text{кг}/\text{дал а. а.}$, введеного на тарілку живлення), розраховували за формулою:

$$G_{\text{п}}^{\text{пит}} = \frac{G_{\text{п}}}{V_{\text{ГФ}} C_{\text{ГФ}}} \cdot 100 = 13 \text{ кг}/\text{дал а. а.}; \quad (2)$$

де $V_{ГФ}$ — витрата ГФ спирту етилового, дал/год, $V_{ГФ} = 8,5$ дал/год; $C_{ГФ}$ — концентрація етилового спирту в ГФ, %об., $C_{ГФ} = 93,3$ % об.

У процесі розгонки ГФ при затримці рідини на тарілках до 20 с ступінь вилучення альдегідів, вищих спиртів сивушного масла та метилового спирту зростала в середньому на 30%, кратність концентрування головних і верхніх проміжних домішок підвищувалась на 32%. При цьому витрати гріючої пари на процес розгонки скорочувались на 30% порівняно з типовими установками — до 13 кг/дал а.а., введенного на тарілку живлення РК.

На другому етапі проводились дослідження ефективності запропонованої авторами технології в процесі перегонки зрілої бражки. Встановлено, що подовження часу перебування бражки на тарілках експериментальної колони до 12 с дає змогу підвищити концентрацію спирту в бражному дистиляті до 63...65%об. порівняно з типовими бражними колонами. Коаксіальне розташування лусок виключає можливість утворення застійних зон і пригорання зважених частинок бражки, що подовжує експлуатаційний період роботи бражної колони без зупинки на профілактичні роботи [6].

Встановлено, що витрати гріючої пари на процес брагоперегонки скорочуються на 35% порівняно з типовими бражними колонами і не перевищують 16 кг/дал а.а. бражки.

Висновки

Використання тарілок із змінним живим перерізом у БРУ дає змогу реалізувати переваги режиму повного витіснення за парою і рідиною та унеможливити перемішування рідини на суміжних тарілках. Подовження часу перебування рідини на тарілках бражної та розгінної колон до 12 і 20 с відповідно наближає ефективність їх роботи до ефективності теоретичних тарілок. При цьому ступінь розділення спиртовмісних фракцій зростає на 30%, концентрація спирту в бражному дистиляті підвищується на 28%, а витрати гріючої пари скорочуються в середньому на 32% порівняно з типовими установками. Крім того, час переливання рідини по тарілках зменшується від 5 до 2 с завдяки миттєвому зменшенню швидкості пари в щілинах контактних пристроїв.

Перспективним напрямком є дослідження ефективності роботи контактних пристроїв із змінним живим перерізом у процесах епіюрації бражного дистиляту й очистки етилового спирту.

Література

1. Шиян П.Л., Сосницький В.В., Олійнічук С.Т. Інноваційні технології спиртової промисловості. Теорія і практика: монографія. Київ: Видавничий дім «Асканія», 2009. 424 с.
2. Цыганков П.С., Цыганков С.П. Руководство по ректификации спирта. Москва: ПИЩЕПРОМИЗДАТ, 2001. 400 с.
3. Buliy Y., Shiyani P., Kuts A. Distillation of alcoholic distillate in controlled cycles mode. 8th Central European Congress on food 2016. Food Science for Well-being (CEFood 2016): Book of Abstracts. 23—26 May 2016. Kyiv: NUFT, 2016. P. 230.
4. Спосіб переливу рідини по тарілках колонного апарата у процесі масообміну між парою та рідиною: пат. 89874 С2. Україна; заявлено 06.06.08; Опубл. 10.03.10, Бюл. № 5. 4 с.
5. Ректифікаційна колона з керованими циклами: пат. 116565 Україна; заявлено 12.12.16; Опубл. 25.05.17, Бюл. № 10. 5 с.
6. Булий Ю.В., Шиян П.Л., Дмитрук А.П., Куц А.М. Оптимизация процесса перегонки спиртовой бражки. *Химия и технология пищи*. Каунас: ПИКТУ, 2015. Т. 49, № 1. С. 20—28.

УДК 664.665:613.26

PERSPECTIVES FOR THE DEVELOPMENT OF TECHNOLOGIES OF HEALTHY BAKERY AND CONFECTIONERY PRODUCTS BASED ON NON-TRADITIONAL PLANT RAW MATERIALS

**V. Mykhaylov, O. Samokhvalova, S. Oliinyk, N. Grevtseva, A. Zagorulko,
A. Zahorulko**

Kharkiv State University of Food Technology and Trade

Key words:

*Health bakery and
confectionery products
Plant raw materials
Concentration
Drying*

Article history:

Received 12.11.2018
Received in revised form
30.11.2018
Accepted 14.12.2018

Corresponding author:

V. Mykhaylov
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The article is of an exploratory nature and is devoted to the substantiation of prospects for the creation of new technologies of healthy bakery and confectionery products with the products of processing of non-traditional plant raw materials.

A team of authors from Kharkiv State University of Food Technology and Trade is carrying out systematic research on the improvement of processes and hardware design of the production of concentrated and dried products of plant raw materials processing using combined methods of heating, which promote energy- and resource saving. Within this direction, the methods for processing fruit and berry, vegetable and pine-aromatic raw materials by their concentrating by microwave treatment under vacuum, vacuum boosting with the use of new type of mixers, vibration vacuum drying and IR drying at low temperatures (within 40...65°C) are developed. Their application will allow to expand the range of additives with the original organoleptic properties and the maximum preserved content of food and biologically active substances.

Another actual trend is the creation of technologies for bakery and confectionery products with the use of secondary vegetable raw materials, in particular, crushed non-fatty germs of grain crops (sprouts of wheat germ and oats) and grape powders (from peanuts and pips separated from grape) with a high content of nutrients and biologically active substances. With their application a number of industrially tested health-improving bakery and flour confectionery products were developed. Functional-technological properties and valuable chemical composition of these additives provide opportunities for the creation of a wide spectrum of technologies for bakery and confectionery products with the increased nutritional value.

DOI: 10.24263/2225-2924-2018-24-6-21

ПЕРСПЕКТИВИ СТВОРЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ОЗДОРОВЧИХ ХЛІБОБУЛОЧНИХ І КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВ НА ОСНОВІ НЕТРАДИЦІЙНОЇ РОСЛИННОЇ СИРОВИНИ

**В.М. Михайлов, О.В. Самохвалова, С.Г. Олійник, Н.В. Гревцева,
О.Є. Загорулько, А.М. Загорулько**

Харківський державний університет харчування та торгівлі

Стаття має оглядовий характер і присвячена обґрунтуванню перспектив створення нових технологій оздоровчих хлібобулочних і кондитерських виробів з продуктами переробки нетрадиційної рослинної сировини.

Колективом авторів харківського державного університету харчування та торгівлі проводяться системні дослідження з удосконалення процесів і апаратурного оформлення виробництва концентрованих та сушених продуктів переробки рослинної сировини із застосуванням комбінованих методів нагріву, що сприяють енерго- та ресурсозбереженню. В рамках цього напрямку розроблено способи переробки плодово-ягідної, овочевої та пряноароматичної сировини шляхом її концентрування НВЧ обробкою під вакуумом, вакуумного уварювання з використанням мішалок нового типу, вібраційного вакуумного сушіння та ІЧ-сушіння за низьких температур (в межах 40...65°C). Їх застосування дасть змогу розширити асортимент збагачувальних добавок з оригінальними органолептичними властивостями та максимально збереженням вмістом харчових і біологічно активних речовин.

Іншим актуальним напрямком є створення технологій хлібобулочної та кондитерської продукції з використанням вторинної рослинної сировини, зокрема подрібнених знежирених зародків зернових культур (шротів зародків пшениці та вівса) і виноградних порошків (зі шкірочок і кісточок, відокремлених з виноградних вичавків) з високим вмістом поживних і біологічно активних речовин. Завдяки їх застосуванню розроблено низку оздоровчих хлібобулочних і борошняних кондитерських виробів, які пройшли промислову апробацію. Функціонально-технологічні властивості й цінний хімічний склад цих збагачувальних добавок відкривають можливості для створення широкого спектра технологій хлібобулочних і кондитерських виробів підвищеної харчової цінності.

Ключові слова: *оздоровчі хлібобулочні та кондитерські вироби, нетрадиційна рослинна сировина, концентрування, сушіння.*

Постановка проблеми. Сьогодні в Україні, як і у всьому світі, спостерігається швидке розповсюдження неінфекційних хвороб аліментарного походження, пов'язаних із недостатністю в раціонах харчування життєво необхідних нутрієнтів. Катастрофічні масштаби цієї проблеми звели її до рангу найважливіших серед питань державної національної безпеки. У відповідь на нові виклики та загрози країни Європейського регіону ВООЗ розро-

били нову європейську політику «Здоров'я — 2020», план імплементації якої у нашій країні сформульований у проекті загальнодержавної програми «Здоров'я — 2020: український вимір», а також проєкт бюро ВООЗ в Україні та Швейцарської агенції розвитку та співробітництва «Неінфекційні захворювання: профілактика та зміцнення здоров'я в Україні» [1]. Одним з основних профілактичних заходів є включення у харчові раціони продуктів з підвищеним вмістом харчових і біологічно активних речовин, що здатні позитивно впливати на активність та довголіття людини, підвищувати резистентність організму до захворювань. У цьому зв'язку важливості набуває проблема формування вітчизняного асортименту оздоровчих продуктів харчування, у тому числі хлібобулочних і кондитерських виробів, що традиційно користуються великою популярністю і вживаються всіма верствами населення [2; 3].

Відомо, що для корекції хімічного складу вказаної продукції, надання їй оздоровчих властивостей доцільно використовувати продукти переробки рослинної сировини — природні біокоректори з високою харчовою та біологічною цінністю [2—4]. Отже, актуальним є створення новітніх мало-відходних і безвідходних технологій концентрованих збагачувальних сировинних компонентів на основі плодово-ягідної, овочевої та пряно-ароматичної сировини, а також технологій оздоровчих хлібобулочних та кондитерських виробів з їх використанням.

Мета дослідження: обґрунтування перспектив створення нових технологій оздоровчих хлібобулочних і кондитерських виробів з продуктами переробки нетрадиційної рослинної сировини.

Викладення основних результатів дослідження. Вітчизняний та закордонний досвід розробки технологій хлібобулочних і кондитерських виробів підвищеної харчової цінності свідчить про ефективність застосування з цією метою збагачувальних добавок з плодово-ягідної, овочевої, пряно-ароматичної та зернової сировини, у тому числі вторинної [3—15].

Важливою характеристикою збагачувальних рослинних добавок є максимальне збереження біологічно активних речовин (БАР) вихідної сировини, що обумовлює пошук нових технологічних рішень під час їх отримання. Для цього використовують інноваційні способи переробки рослинної сировини, що передбачають щадні температурні режими її обробки, в тому числі низькотемпературне сушіння, подрібнення, екстрагування, концентрування [3; 6].

Колективом авторів ХДУХТ проводяться системні дослідження щодо удосконалення процесів і апаратурного оформлення виробництва концентрованої та сушеної продукції рослинного походження шляхом застосування комбінованих методів нагріву, що сприяють енерго- та ресурсозбереженню [6; 7]. В рамках цього напряму розроблено способи переробки плодово-ягідної, овочевої та пряноароматичної сировини шляхом її концентрування НВЧ обробкою під вакуумом, вакуумного уварювання із застосуванням мішалок нового типу, вібраційного вакуумного сушіння та ІЧ-сушіння за низьких температур (в межах 40...65°C) [6]. Так, наприклад, використання вакуумної мікрохвильової обробки рослинної сировини дає змогу звести до мінімуму втрати харчових і біологічно активних речовин в отриманих пастах та порош-

ках за рахунок низьких температур та рівномірного тепло- і масообміну. Розроблений НВЧ-апарат для концентрування харчових продуктів із комплексним використанням НВЧ-нагрівання та вакуумування є універсальним і призначається для виробництва широкого асортименту концентрованих і сушених напівфабрикатів на основі різноманітної сировини.

Застосування концентрування в роторному плівковому апараті дасть змогу суттєво зменшити час обробки за рахунок інтенсифікації тепло- і масообміну шляхом комплексного підходу до регулювання процесів гідродинаміки плину в'язкого продукту, теплопідведення, дифузії і реологічних властивостей продуктів, при цьому плин продукту відбувається в полі дії відцентрових сил.

Використання методів роздільного концентрування з використанням вакуумного уварювання рідкої фази в умовах ефективного перемішування за допомогою нових конструкцій мішалок скребкового типу та віддільного концентрування твердої фази шляхом вакуумної сушки за низьких температур 45...50°C створює умови для отримання пастоподібних концентратів високої якості з мінімальними енерговитратами.

Застосування ІЧ-сушіння на основі гнучкого плівкового резистивного електронагрівача випромінюючого типу (ГПРЕНВТ) забезпечить рівномірність теплового потоку. Поєднання ІЧ-сушіння зі стерилізацією сприяє тривалому зберіганню продуктів переробки рослинної сировини в герметичній тарі за звичайних умов протягом 1,5...2 років [12].

На теперішній час удосконалено конструкції роторного плівкового апарата для концентрування плодово-ягідних паст і вальцьової ІЧ-сушарки для отримання сушеного порошкоподібного напівфабрикату. Для розроблених способів виробництва фруктових паст і порошкоподібних сушених виробів на основі удосконаленого обладнання підібрано різні композиції багатокомпонентних напівфабрикатів на основі яблук, журавлини, глоду, бузини, зизифусу, кизилу, обліпихи, хеномелесу тощо [9].

Розроблені напівфабрикати з плодово-ягідної сировини (багатокомпонентні порошки, пасти, пасто- та порошкоподібні продукти) рекомендовані як вітамінно-мінеральні добавки в лікувально-профілактичному харчуванні, наповнювачі та загусники у технологіях продукції хлібопекарської та кондитерської галузі. Вказана продукція та відповідне обладнання для її виробництва пройшли дослідно-промислову перевірку в умовах ФОП Романова А.Ю., ТОВ МС «Холод», ТОВ «НБК Восток-Альфа» (м. Харків).

Отримані результати вказують на перспективність удосконалення способів переробки рослинної сировини з використанням енерго- та ресурсоефективних апаратів для концентрування та сушіння. Обрані наукові підходи до здійснення процесів концентрування та сушіння плодово-ягідної, овочевої та пряно-ароматичної сировини дають змогу розширити асортимент збагачувальних добавок з оригінальними органолептичними властивостями та максимально збереженням вмістом харчових і біологічно активних речовин.

Відомо, що для збагачення хлібобулочних і кондитерських виробів ефективним є застосування вторинної зернової, плодово-ягідної та іншої рослинної сировини [3; 4; 9—14]. У цьому зв'язку актуальним є створення техноло-

гій оздоровчої хлібобулочної та кондитерської продукції з використанням подрібнених знежирених зародків зернових культур (шротів зародків пшениці та вівса) і виноградних порошків (зі шкірочок і кісточок, відокремлених з виноградних вичавків).

Шроти зародків пшениці та вівса є вторинними продуктами в технологіях відповідних рослинних олій, які отримують в Україні за сучасними технологіями, що забезпечують максимальне збереження природного потенціалу зернової сировини. Вони містять значну кількість біологічно цінного білка (20...45%), а також харчових волокон (23...25%) — некрохмальних полісахаридів з потужними пребіотичними, детоксикаційними, імуностимулюючими властивостями. Біологічно активні речовини в досліджуваних продуктах представлені в основному вітамінами Е, В₁, РР, а також такими мінеральними речовинами, як залізо, калій, магній, фосфор, натрій [3; 14].

Встановлено, що внесення шротів зародків пшениці та вівса на етапі замішування тіста в фізіологічно значимих дозуваннях (10...20% замість пшеничного борошна) призводить до зміни його в'язкості, причому особливо істотно (в 2...4 рази) — у разі внесення шроту зародків вівса, що спричинене у 1,5..1,9 рази більшою, ніж у борошна водопоглинальною здатністю. Наявність у складі добавок амінокислот, вітамінів, мінеральних речовин сприяє активації бродильної мікрофлори і, як наслідок, більш інтенсивному перебігу мікробіологічних процесів у тісті, що приводить до прискорення кислото- і газоутворення і дає можливість скоротити тривалість бродіння тіста на 7...20% [3].

Узагальнені результати покладені в основу технологій пшеничних хлібобулочних виробів, характерними особливостями яких є підвищений вміст білка (на 10...50%), харчових волокон (в 1,7...2,0 рази), вітамінів, мінеральних речовин, а також оригінальні органолептичні показники якості та більш тривалий термін зберігання свіжості. Нові продукти рекомендовані для масового споживання, а також для оздоровчого та лікувально-профілактичного харчування [3; 14]. На нові види хліба зі шротом зародків пшениці затверджені в установленому порядку ТУ У 15.8-1566330-242: 2010 «Вироби хлібобулочні з продуктами переробки зародків пшениці», РЦУ 00389676.6266: 2014 на хлібець «До сніданку» з внесенням шроту зародків вівса і технологічні інструкції з їх виготовлення.

До перспективних добавок кондитерського виробництва також можна віднести продукти переробки виноградних вичавків. Щорічно на українських виноробних підприємствах під час переробки винограду різних сортів у великих кількостях накопичуються вичавки, що є потужним джерелом харчових волокон (целюлози, геміцелюлоз, пектинових речовин, лігніну), поліфенолів (антоціанів, лейкоантоціанів, катехінів, флавонолів тощо), макро- та мікроелементів (калію, кальцію, магнію, фосфору, заліза, цинку, кремнію, міді), вітамінів (РР, С, холіну) [3; 15].

Виноградні вичавки розділяють на складові частини — кісточки та шкірочки з гребенями, висушують за температури не вище ніж 60°C, подрібнюють і отримують виноградні порошки з високим вмістом біологічно активних сполук, з яких особливої уваги заслуговують поліфеноли, що, як відомо, проявляють потужні антиоксидантні властивості.

Вивчення технологічних властивостей порошків з виноградних кісточок та виноградних шкірочок дало змогу обґрунтувати та розробити технології борошняних кондитерських виробів — здобного печива, мафінів, пряників оздоровчого призначення з додаванням від 10,0 до 20,0% дослідних добавок від маси борошна пшеничного залежно від виду порошку та виду виробу. У розроблених виробих з високим рецептурним вмістом жиру уповільнюються процеси його окиснення, що подовжує терміни зберігання продукції. Часткова заміна імпортного какао-порошку на порошки з виноградних кісточок і виноградних шкірочок у кондитерських виробих дає можливість знизити на 5...7% їх собівартість. Подальші дослідження з використання виноградних порошків у кондитерській галузі спрямовані на обґрунтування технологій цукристих виробів з високим вмістом жиру, насамперед кондитерської глазури [15].

Розроблені технології хлібобулочних і кондитерських виробів успішно пройшли виробничу апробацію і впроваджені на підприємствах м. Харків і Харківської області.

Проте потенціал продуктів переробки зародків пшениці та вівса, а також виноградних вичавків для створення інноваційних технологій оздоровчої продукції не можна вважати вичерпаним. Їхні функціонально-технологічні властивості й цінний хімічний склад відкривають нові можливості для створення широкого спектра технологій оздоровчих хлібобулочних і кондитерських виробів з високими споживними властивостями.

Перспективними завданнями цього напрямку досліджень є:

- розробка інноваційних ресурсозберігаючих способів концентрування, сушіння рослинної сировини, за використання яких в продуктах її переробки максимально зберігається природний вміст харчових і біологічно активних речовин;
- розробка асортименту плодово-ягідних, овочевих та пряно-ароматичних паст і порошків з вирішенням завдань щодо збереження кольору вихідної сировини;
- розробка рецептур, технологій та асортименту оздоровчих хлібобулочних та борошняних кондитерських виробів з продуктами переробки рослинної сировини.

Висновки

Отже, дослідження, спрямовані на створення інноваційних ресурсозберігаючих технологій хлібобулочних та кондитерських виробів оздоровчого призначення з використанням нових продуктів переробки рослинної сировини з максимально збереженим природним вмістом харчових і біологічно активних речовин та обладнання для їх реалізації, безперечно, є актуальними.

Література

1. Концепція Загальнодержавної програми «Здоров'я — 2020: український вимір». URL: <https://www.kmu.gov.ua/ua/npas/244717787>.
2. Joyce I. Boye. Nutraceutical and Functional Food Processing Technology. Chichester: Wiley-Blackwell, 2015. 400 p.

3. Інноваційні технології хлібобулочних і кондитерських виробів: колект. монографія / О.В. Самохвалова та ін.; за заг. ред. канд. техн. наук, проф. О.В. Самохвалової; Харків. держ. ун-т харчування та торгівлі. Харків: Ексклюзив, 2015. 462 с.
4. Товарознавство продуктів функціонального призначення: навч. посібник / А.А. Дубініна, Т.М. Летуга, М.О. Янчева та ін. Харків: ХДУХТ, 2015. 189 с.
5. Процеси виробництва багатокомпонентних паст із органічної сировини: монографія / О.І. Черевко, В.М. Михайлов, Л.В. Кіптела та ін. Харків: ХДУХТ, 2015. 167 с.
6. Погожих М.І., Пак А.О. Енергоефективні способи переробки харчової сировини: сушіння плодово-ягідної сировини: навч. посіб.; Харк. держ. ун-т харч. та торгівлі. Харків: ХДУХТ, 2015. 159 с.
7. Рязанова О.А., Кириличева О.Д. Использование местного растительного сырья в производстве обогащенных продуктов. *Пищевая промышленность*, 2005. № 6. С. 72—73.
8. Drying and quality characteristics of fresh and sugar-infused blueberries dried with infrared radiation heating / Junling Shi et al.; *LWT – Food Science and Technology*, 2008. № 41. P. 1962—1972.
9. Дорохович А.М., Лазоренко Н.П. Маффины функционального и диетического назначения. Научни трудове на УХТ «Хранителна наука, техника и технологи 2012». Пловдив, 2012. Том 59. С. 108—112.
10. Дробот В.І. Іжевська О.П., Бондаренко Ю.В. Шрот насіння льону в технології хлібобулочних виробів. *Харчова наука та технологія*, 2016. Том 10. № 3. С. 76—81.
11. Wheat (*Triticum aestivum* L.) Bran in Bread Making: A Critical Review / S. Hemdane, Pieter J. Jacobs, E. Dornez et al.; *Reviews in Food Science and Food Safety. Comprehensive*, 2015. Vol. 1. P. 1—12.
12. Каліновська Т.В., Крапивницька І.О., Оболкіна В.І., Кияниця С.Г. Використання вторинних продуктів переробки винограду під час розробки інноваційних технологій кондитерських виробів. Обладнання та технології харчових виробництв: темат. зб. наук. пр. Донецького національного університету економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. 2013. № 30. С. 75—80.
13. Sensory and Consumer Perception of the Addition of Grape Seed Extracts in Cookies / G. Davidov-Pardo, M. Moreno, I. Arozarena, M.R. Marin-Arroyo, R.N. Bleibaum, C.M. Bruhn. *Journal of Food Science*. December, 2012. Volume 77. Issue 12. P. S430—S438.
14. Олійник С.Г. Степанькова Г.В., Самохвалова О.В., Кравченко О.І. Технологія хліба пшеничного з продуктами переробки зародків вівса та кукурудзи: монографія. Харків: ХДУХТ, 2017. 123 с.
15. Samohvalova O., Grevtseva N., Brykova T., Grigorenko A. The effect of grape seed powder on the quality of butter biscuits. *Східно-Європейський журнал передових технологій. Технології та обладнання харчових виробництв*, 2016. № 3/11(81). С. 61—66.

SCIENTIFIC RESULTS OF THE POSSIBILITY OF STABILIZATION OF PORK FAT ON THE NATIVE QUERCETIN CONTAINING RAW MATERIAL

L. Peshuk, T. Ivanova, I. Radzievska

National University of Food Technologies

Key words:

Pork fat
Quercetin
Onions peels extract
Biochemical methods

Article history:

Received 13.12.2018
Received in revised form
05.12.2018
Accepted 20.12.2018

Corresponding author:

L. Peshuk
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

Quercetin-containing plant material (onions peels), which is safe and affordable for further incorporation into products was pre-selected; the technology of obtaining quercetin-containing extracts was developed; the concentration of quercetin in them was determined. The conducted researches have proved the possibility of stabilizing the quality of fat through the inclusion of native quercetin-containing raw materials (onions peels extract).

The objects of the study were pork fat, quercetin of the German company Merk, steamed water extract of husk onion. On the model samples, the accumulation of oxidative spoilage products (peroxide and acid numbers) during storage with the addition of onions peels extract and chemically pure quercetin of the German company Merk was determined. Compliance of the studied samples with the established norms was noted on the basis of biochemical studies. The duration of storage of smoked pork fat with antioxidant additives and without them was investigated. Samples of the acidity value with the addition of quercetin and quercetin-containing raw material (onions peels extract) only for 30 days had the limit value of this indicator (1.18 and 1.13 mg KOH/g, respectively), compared to control (1.55 mg KOH/g for 30 days).

The study of the dynamics of the accumulation of products of oxidative damage of pork fat showed that in the control sample there was an intense accumulation of peroxides more than 3.2 times to the initial value. The inoculation for samples with the addition of quercetin and onions peels extract for 30 days was 10.1 and 9.8 mmol $\frac{1}{2}$ O/kg respectively. Relevant research suggests that the addition of quercetin-containing native fat to the pork fat allows the storage period to be extended by 10 days, in comparison with the control sample.

НАУКОВІ ПОШУКИ МОЖЛИВОСТІ СТАБІЛІЗАЦІЇ ЯКОСТІ ЖИРІВ З ВКЛЮЧЕННЯМ НАТИВНОЇ КВЕРЦЕТИНВІСНОЇ СИРОВИНИ

Л.В. Пешук, Т.М. Іванова, І.Г. Радзієвська

Національний університет харчових технологій

Попередньо відібрано кверцетинвмісну рослинну сировину (лушпиння цибулі), яка є безпечною і доступною для подальшого внесення у продукти, розроблено технологію отримання кверцетинвмісних екстрактів, визначено концентрацію кверцетину в них. Об'єктами дослідження обрано жир свинячий, кверцетин німецької компанії Merk, упарений водний екстракт лушпиння цибулі.

У результаті проведених досліджень доведено можливість стабілізації якості жиру за рахунок включення нативної кверцетинвмісної сировини (екстракту лушпиння цибулі) порівняно з контрольними зразками. На модельних зразках (топленому свинячому жирі з антиокиснюючими добавками та без них) визначено динаміку накопичення продуктів окислювального псування (пероксидне і кислотне числа) в процесі зберігання з додаванням екстракту лушпиння цибулі та хімічно чистого кверцетину німецької компанії Merk. Відмічено відповідність досліджуваних зразків встановленим нормативам. У зразках жиру встановлено значення кислотного числа з додаванням кверцетину і кверцетинвмісної сировини (екстракту лушпиння цибулі). Граничне значення цього показника досягалося лише на 30 добу (1,18 та 1,13 мг КОН/г відповідно), якщо порівняти з контролем (1,55 мг КОН/г на 30 добу).

Дослідження динаміки накопичення продуктів окиснювального псування свинячого жиру показали, що в контрольному зразку відбувалося інтенсивне накопичення перекисів — більш ніж в 3,2 раза до початкового значення. Пероксидне число для зразків з додаванням кверцетину й екстракту лушпиння цибулі на 30 добу становило 10,1 та 9,8 ммоль $\frac{1}{2}$ O/kg. Відповідні дослідження дають змогу стверджувати, що додавання в свинячий жир нативної кверцетинвмісної сировини подовжує термін зберігання на 10 діб, якщо порівняти з контрольним зразком.

Ключові слова: свинячий жир, кверцетин, екстракт лушпиння цибулі, біохімічні методи дослідження.

Постановка проблеми. З літературних даних відомо, що жирова частина всіх харчових продуктів схильна до окиснювальних змін при зберіганні, що викликає зниження їх харчової цінності й органолептичних характеристик. Найбільш ефективним способом гальмування окиснювальних процесів є використання антиоксидантів. У той же час введення будь-яких харчових добавок, в тому числі й антиокиснювальної дії, здорожчує собівартості готового продукту і має бути виправданим з позицій технологічної та практичної доцільності їх застосування.

Нині велика увага приділяється пошуку натуральних добавок, що містять природні антиоксиданти, безпосередньо флаваноїди: рутин, гесперидин, гіперозид, кверцетин, кемпферол та апігенін. Найбільш поширеним антиоксидантом біофлаваноїдом є кверцетин (Quercetin) [1—2]. Антиоксидантна активність кверцетину обумовлена його здатністю пригнічувати процеси перекисного окиснення ліпідів, знижувати вміст не тільки вільних радикалів, а й токсичних продуктів перекисного окиснення. Великий вміст кверцетину виявлено в лушпинні цибулі (40000 мг/кг) [3].

Топлений свинячий жир входить до складу більшості м'ясних продуктів. Досліджено раніше вплив рослинних олій на стійкість свинячого жиру, а також виготовлено сосиски з включенням кверцетину та нативної кверцетинвмісної сировини подовженого терміну зберігання [4; 5].

Нашими дослідженнями було доведено можливість стабілізації якості жиру за рахунок включення нативної кверцетинвмісної сировини (екстракту лушпиння цибулі).

Дослідження виконано в рамках держбюджетної тематики ДР № 0115U006057 «Розроблення шляхів використання натуральних інгредієнтів в технології інноваційних м'ясних і м'ясомістких продуктів».

Мета дослідження: доведення можливості стабілізації якості жиру свинячого за рахунок включення кверцетинвмісної сировини та подовження терміну зберігання.

Матеріали і методи. Об'єктами дослідження були жир свинячий (ГОСТ 25292-82 «Жиры животные пищевые топленные. Технические условия»), кверцетин німецької компанії Merk, упарений водний екстракт лушпиння цибулі (ТУ У 02070938–242:2017 «Водний екстракт з лушпиння цибулі»).

Попередньо експериментально були встановлені оптимальні параметри екстрагування лушпиння цибулі: гідромодуль 1:25, тривалість екстрагування 15 хв за температури 90...100°C. В отриманому екстракті вміст сухих речовин склав 0,6%. Враховуючи, що кверцетин є термостійкою речовиною, рекомендовано упарювати отриманий екстракт (за температури 90...100°C, в 10 разів). Після упарювання було визначено концентрації сухих речовин в екстракті (10,7%) і кількість кверцетину (1 г/дм³) [6—8].

При виконанні використовували стандартні біохімічні методи досліджень (визначали кислотне й пероксидне числа) [9—10].

Результати і обговорення. Досліджено тривалість зберігання топленого свинячого жиру з антиокиснючими добавками та без них: кверцетину (концентрація 0,02%) та екстракту лушпиння цибулі (ЕЛЦ), який додавали з розрахунку 0,02% концентрації кверцетину, що відповідає рекомендаціям ФАО/ВООЗ щодо використання антиокиснювачів.

Згідно з ГОСТ 25292-82 «Жиры животные пищевые топленные. Технические условия» кислотне число (КЧ) для свинячого жиру вищого сорту має бути не більше 1,1 мг КОН/г при температурі 20...25°C — 20 діб. Зразки досліджуваного жиру зберігали при температурі 20...25°C до досягнення показника КЧ більше 1,1 мг КОН/г (рис. 1).

Аналіз динаміки зміни КЧ (рис. 1) показує, що додавання до свинячого жиру кверцетину німецької компанії Merk та екстракту лушпиння цибулі

пригнічує процес гідролізу ліпідів під час зберігання. При цьому в контрольному зразку значення КЧ на кінець зберігання перевищувало встановлену норму, в той час як у зразках з додаванням кверцетину і кверцетинвмісної сировини (екстракту лушпиння цибулі) лише на 30 добу мали граничне значення цього показника (1,18 та 1,13 мг КОН/г відповідно).

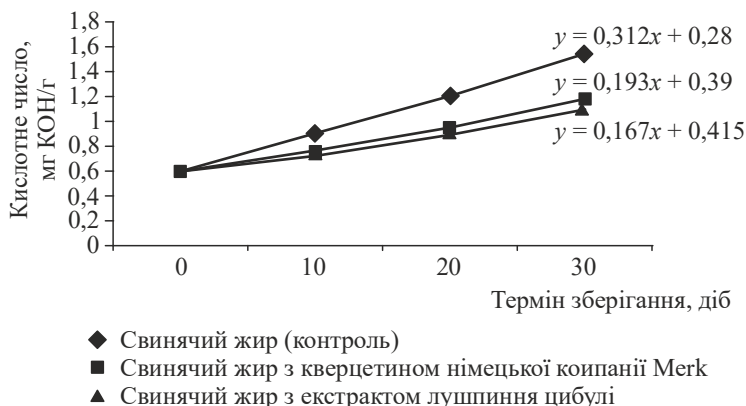


Рис. 1. Динаміка змін кислотного числа свиного жиру в процесі зберігання, мг КОН/г ($t_{\text{зберіг.}} 20...25^{\circ}\text{C}$)

Також ефективність дії добавок оцінювали за динамікою зміни перекисного числа (ПЧ) при температурі $20...25^{\circ}\text{C}$ до досягнення значення ПЧ, яке відповідає зіпсованому жиру $10,0 \text{ ммоль } \frac{1}{2}\text{O}/\text{кг}$ (рис. 2).

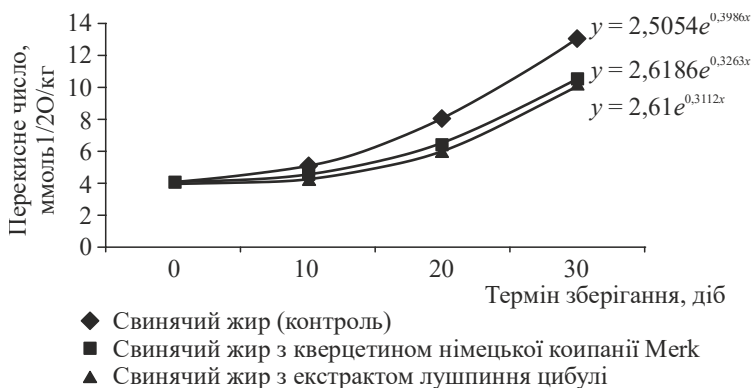


Рис. 2. Динаміка зміни перекисного числа свиного жиру в процесі зберігання, ммоль $\frac{1}{2}\text{O}/\text{кг}$ ($t_{\text{зберіг.}} 20...25^{\circ}\text{C}$)

Результати дослідження динаміки накопичення продуктів окиснювального псування свиного жиру (рис. 2) показали, що в контрольному зразку відбувалося інтенсивне накопичення перекисів з 4,04 до $13,10 \text{ ммоль } \frac{1}{2}\text{O}/\text{кг}$ за 30 діб зберігання більш ніж в 3,2 раза до початкового значення. ПЧ для зразків з додаванням кверцетину і екстракту лушпиння цибулі на 30 добу становило 10,1 та $9,8 \text{ ммоль } \frac{1}{2}\text{O}/\text{кг}$ відповідно, тобто відповідало встановленим нормам на цей показник. Це дає змогу стверджувати, що термін збері-

гання свинячого жиру подовжено на 10 діб. Порівнюючи дію внесення кверцетину та кверцетинвмісної сировини, слід зазначити, що ефективність природних антиоксидантів лушпиння цибулі не поступається дії синтетичного при зберіганні свинячого жиру.

Тобто додавання кверцетину хімічно чистого або екстракту лушпиння цибулі дає змогу подовжити термін зберігання топленого свинячого жиру при температурі 20...25°C до 30 діб, якщо порівняти з нормами ГОСТ 25292-82 при тій же температурі 20 діб.

В подальшому можливість стабілізації жиру за рахунок додавання кверцетинвмісної сировини буде досліджуватися та доводитися за мікробіологічними показниками.

Висновок

Отже, додавання в свинячий жир нативної кверцетинвмісної сировини дає змогу подовжити термін зберігання на 10 діб, якщо порівняти з контрольним зразком.

Література

1. Kelly G. Quercetin Alternative Medicine review. 2011. Vol. 16, No 2. P. 172—194.
2. Смірнов, О., Косик, О. Флаваноїди рутин і кверцетин. Біосинтез, будова, функції // *Вісник Львівського університету*. Серія біологічна. 2011. № 56. С. 3—11.
3. Ковалевська І.В. Визначення фізико-хімічних характеристик кверцетину. *Фармакогнозія та хімія природних сполук*. Випуск № 1(14). 2014. С. 14—19.
4. Пешук, Л.В., Радзівєвська І.Г. Дослідження впливу рослинних олій на стійкість свинячого жиру. *Харчова наука і технологія*. 2009. № 1(54). С. 28—30.
5. Грегірчак Н.М., Пешук Л. В., Зусько К.В., Іванова Т. М., Радзівєвська І.Г. Дослідження сосисок з включенням кверцетину та нативної кверцетинвмісної сировини подовженого терміну зберігання. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. Київ. 2017. Т. 23, № 4. С. 223—234.
6. Пешук Л.В., Іванова Т.М. Дослідження концентрації кверцетину у водних екстрактах рослинної сировини. Матеріали 83 міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, Київ, НУХТ, Україна, квітень 5—6. 2017. С. 333.
7. Іванова Т.М., Зусько К.В., Грегірчак Н.М., Пешук, Л.В., Куц А.М. «Дослідження процесу екстрагування кверцетинвмісної сировини для виробництва м'ясних продуктів // *Харчова промисловість*. Київ. 2017. Т. 22. С. 49—54.
8. Пешук Л.В., Гавалко Ю.В., Іванова Т.М. Перспективи використання вторинної кверцетинвмісної сировини (лушпиння цибулі і часнику) і лікарських трав у технології спеціальних м'ясних продуктів. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. Київ. 2016. Т. 22, № 5. С. 238—244.
9. ДСТУ ISO 3960-2001 «Жири і олії тваринні і рослинні. Визначання пероксидного числа (ISO 3960:1998, IDT)». [Чинний від 01.01.2003]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2002. 6 с.
10. ДСТУ 4350: 2004. Олії. Методи визначання кислотного числа (ISO 660: 1996, NEQ). [Чинний від 01.10.2005]. Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 2004. 4 с.

QUALITY FORMATION OF UNFORTIFIED STRAWBERRY WINE MATERIALS UNDER APPLICATION OF DIFFERENT YEAST RACES

A. Tokar, I. Haidai, O. Yoshyna

Uman National University of Horticulture

V. Voitsechivskyi

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Key words:

Strawberry

Cultivar

Yeast race

Unfortified wine materials

Article history:

Received 06.11.2018

Received in revised form

21.11.2018

Accepted 07.12.2018

Corresponding author:

A. Tokar

E-mail:

npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The article presents the results of a two-year research on the production of unfortified wine materials from strawberries of Polka and Pegas cultivars while using active dry yeasts (ADY), produced in France and Spain.

Two factors influenced significantly the quality formation of wine materials from strawberries: special features of a strawberry cultivar and yeast races. In particular, yeast race (from 52% to 73%) was recorded to have an overwhelming influence on the accumulation of ethanol, total residual sugars, volatile acids and residual extract. And only mass concentration of titrated acids depended mainly on peculiarities of a cultivar. Wine materials from strawberries of Polka and Pegas cultivars are suitable for the production of wine materials with volume proportion of ethanol 14.8—17.2%, which is sufficient for the production of dessert and sweet unfortified fruit wines.

To ferment the mash from Polka cultivar, the best race was ENSIS LE-1, from Pegas cultivar — EC-1118, and from both cultivars — ENSIS LE-6. Simultaneously, in all variants under the application of ENSIS LE-Cl the fermentation was considerably incomplete. According to the mass concentration of volatile acids (0.53—1.12 g/dm³) the wine materials met requirements, and according to the concentration of residual extract they exceed the norm by 1.3—3.1 times. Mass concentration of titrated acids in wine materials made up 9.2—11.4 g/dm³, which allows to use them for unblended wine under egalisation or in blendings of unfortified wines.

Therefore, before preparing mashes from the fruit of Polka and Pegas cultivars for fermentation, it is necessary to normalize them according to the mass concentration of titrated acids. Active acidity of wine materials was 3.48—3.67 units pH. Low oxidized wine materials were obtained, reduction-oxidation potential is even, 188—205 mV with good organoleptic parameters of quality.

DOI: 10.24263/2225-2924-2018-24-6-23

ФОРМУВАННЯ ЯКОСТІ НЕКРІПЛЕНИХ СУНИЧНИХ ВИНМАТЕРІАЛІВ ЗА ВИКОРИСТАННЯ РІЗНИХ РАС ДРІЖДЖІВ

А.Ю. Токар, І.В. Гайдай, О.Ю. Юшина

Уманський національний університет садівництва

В.І. Войцехівський

Національний університет біоресурсів і природокористування України

У статті наведено результати дворічних досліджень виготовлення некріплених виноматеріалів з ягід суниці садової сортів Полка і Пегас за застосування активних сухих дріжджів (АСД) виробництва Франції та Іспанії.

З'ясовано, що на формування якості виноматеріалів з ягід суниці істотно впливали два фактори: особливості сорту і раса дріжджів. Зокрема, відмічався переважаючий вплив раси дріжджів (від 52 до 73%) на накопичення етилового спирту, масову концентрацію залишкових цукрів, летких кислот і залишкового екстракту. І лише масова концентрація титрованих кислот залежала переважно від особливостей сорту. Виноматеріали з ягід суниці садової сортів Полка і Пегас придатні для виготовлення виноматеріалів з об'ємною часткою етилового спирту 14,8—17,2%, що достатньо для виробництва десертних чи солодких некріплених плодово-ягідних вин.

Для збродження сусел з сорту Полка кращою була раса ENSIS LE-1, з сорту Пегас — EC-1118, з обох сортів — ENSIS LE-6. Одночасно за застосування раси дріжджів ENSIS LE-C1 у всіх варіантах отримано значні «недоброди». За масовою концентрацією летких кислот (0,53—1,12 г/дм³) виноматеріали відповідали чинним вимогам, а за масовою концентрацією залишкового екстракту переважали норму в 1,3—3,1 раза. Масова концентрація титрованих кислот у виноматеріалах була 9,2—11,4 г/дм³, що зумовлює їхнє використання для сортових вин за егалізації чи в купажах некріплених вин.

Тому в майбутньому перед закладанням сусел із ягід суниці сорту Полка і Пегас на бродіння необхідно нормалізувати їх за масовою концентрацією титрованих кислот. Активна кислотність виноматеріалів — 3,48—3,67 од. рН. Отримано мало окиснені виноматеріали (ОВП — 188—205 мВ) з відповідними органолептичними показниками якості.

Ключові слова: суниця садова, сорт, раса дріжджів, некріплені виноматеріали.

Постановка проблеми. У всьому світі держави підтримують створення малих фермерських господарств, які стимулюють розвиток садівництва, виноградарства і бджільництва [1]. Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо розвитку теруарних вин і натуральних медових напоїв» з 2018 р. затверджує правовий статус малих виробників виноробної продукції та суттєво спрощує процедуру ліцензування, а також вихід на ринок. Більшість дрібних фермерів орієнтовані на вирощування плодово-ягідної сировини, а не продукту для свіжого ринку. Тому прибуток у них

незначний і зростає потреба у створенні доданої вартості. Ще у 90-х роках минулого століття плодово-ягідне вино було наявне у магазинах, але його масове виробництво припинилось через несприятливі зміни у законодавстві [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В останні роки на ринку виноробної продукції займають помітне місце та є цікавими для споживача вина з ароматних ягід та плодів, зокрема із суниці, чорної смородини, малини, вишні [3]. В.В. Скрипником розроблено теоретичні основи виготовлення фруктанів (за чинним ДСТУ некріплених плодово-ягідних вин), що значно переважають за якістю кріплені вина та мають набагато складнішу технологію. Процес бродіння тривалий, потребує контролю та регулювання [4]. На думку сучасних виноробів, важливо зберегти якість сировини наскільки це можливо. Хоч втрати є неминучими, але чим менші, тим кращий результат. І другий секрет — не роби занадто багато, спостерігай, контролюй [5]. У виробництві плодово-ягідних вин важливе значення має обов'язкове пастеризування сусел до внесення культурних дріжджів. Механізм взаємодії селекціонованих дріжджів з дикою мікрофлорою вивчено недостатньо, але за співвідношення 1:20 можна сподіватись на позитивний результат [6]. Дріжджі *Saccharomyces* є основними агентами спиртового бродіння і відіграють головну роль у технології виноробства. Важливими характеристиками рас є збродження різних цукрів, інтенсивність дихання і бродіння, асиміляція нітратів, використання етанолу, формування продуктів метаболізму тощо [7]. Селекціонуються нові штами винних дріжджів, що виділяються короткою лаг-фазою, високою ферментативною активністю без будь-якого сповільнення чи ризику зупинення бродіння, мінімальним продукуванням SO_2 і H_2S [8]. Окремі характеризуються підвищеною стійкістю до високої температури [9] та органічних кислот [10].

Мета дослідження: оцінити придатність ягід суниці садової сортів Полка і Пегас для виготовлення некріплених виноматеріалів за використання активних сухих дріжджів. Для цього поставлено такі завдання: дослідити якість некріплених виноматеріалів за фізико-хімічними, непрямими й органолептичними показниками залежно від сорту і раси дріжджів; визначити придатність виноматеріалів для виготовлення солодких і десертних плодово-ягідних некріплених вин; виділити кращі раси дріжджів, які можна застосовувати у виробництві суничних виноматеріалів.

Викладення основних результатів дослідження. Дослідження виконували в Уманському національному університеті садівництва на кафедрі технології зберігання і переробки плодів та овочів у 2016—2018 роках. Для досліджень брали ягоди суниці сортів Полка та Пегас, з яких одержували соки та готували сусла, початкова цукристість яких була достатньою для отримання некріплених виноматеріалів за об'ємною часткою етилового спирту (15,3—17,2%), придатних для виготовлення солодкого та десертного суничного вина. Сусла пастеризували за температури 80—85°C протягом 5 хвилин, охолоджували, розливали у стерильну тару й додавали активні сухі дріжджі: EC-1118 роду *Saccharomyces bayanus* (Франція, контроль), *Saccharomyces cerevisiae* ENSIS LE-C1, ENSIS LE-1, ENSIS LE-5, ENSIS LE-6 (Іспанія) відповідно до рекомендацій виробників (20 г на 100 л сусла). Температура

бродиння сусел — 20—25°C. Під час бродиння контролювали зміну маси суслу. Після закінчення бродиння, ущільнення осаду й освітлення виноматеріалу, останній відділяли від осаду й визначали: об'ємну частку етилового спирту ареометричним методом; масову концентрацію залишкових цукрів — прямим титруванням; титрованих кислот (в перерахунку на яблучну кислоту) — титриметричним методом; летких кислот — методом ступеневої відгонки; залишковий екстракт — як різницю між загальним екстрактом і масовими концентраціями цукрів і титрованих кислот; активну кислотність і окисно-відновний потенціал (ОВП) — В.Г. Гержилова [11]. Органолептичну оцінку проводили на засіданні дегустаційної комісії. Хіміко-технологічну оцінку рас дріжджів — за методикою А.Ю. Токар, В.І. Войцехівський [12].

Дослідження виконували у трьох повтореннях. Статистичну обробку отриманих результатів обробляли методом дисперсійного аналізу з використанням спеціальних пакетів програм.

Процес бродиння суничних сусел у 2016 р. тривав 77 діб у більшості варіантів, а з расами дріжджів ENSIS LE-1 з обох сортів та ENSIS LE-6 із сорту Пегас — 70 діб. У результаті сформувались виноматеріали з фізико-хімічними показниками якості, що наведені у табл. 1.

За вмістом етилового спирту виноматеріали з ягід сорту Полка, що отримані з расами дріжджів ENSIS LE-1 і ENSIS LE-6, та з ягід сорту Пегас, що отримані з расами дріжджів EC-1118 і ENSIS LE-6, можуть бути використані для виготовлення десертного суничного вина.

Проте окремі виноматеріали, в яких об'ємна частка етилового спирту рівна чи більша 14,8%, придатні для виготовлення некріплених солодких вин відповідно до чинного в Україні стандарту на плодово-ягідні вина. Ті виноматеріали, що мали нижчий показник, придатні для купажування чи виготовлення вин покращеної якості.

Результати дисперсійного аналізу вказали на переважаючий вплив раси дріжджів (66%) на накопичення етилового спирту й вміст залишкових цукрів у виноматеріалах. Масова концентрація інших показників також більшою мірою залежала від застосованої раси дріжджів, за винятком титрованих кислот, вміст яких залежав значно від особливостей сорту суніці.

Усі виноматеріали мали підвищену масову концентрацію титрованих кислот, оскільки для сортових десертних вин їхній вміст у виноматеріалах не повинен перевищити 9,1 г/дм³, а для солодких — 8,7 г/дм³. Тобто за цим показником виноматеріали придатні для купажних некріплених вин.

Таблиця 1. Фізико-хімічні показники якості суничних виноматеріалів урожаю 2016 року

Сорт	Раса дріжджів	Об'ємна частка етилового спирту, %	Масова концентрація, г/дм ³			
			залишкових цукрів	титрованих кислот (втрати, %)	летких кислот	залишкового екстракту
1	2	3	4	5	6	7
Полка	EC-1118 (контроль)	15,0	8,2	10,0 (6,5)	0,79	17,3

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
Полка	ENSIS LE-C1	10,5	84,8	10,3 (3,7)	1,05	9,3
	ENSIS LE-1	15,3	3,0	10,7 (0,0)	0,72	17,4
	ENSIS LE-5	14,7	13,0	10,1 (5,6)	0,79	14,5
	ENSIS LE-6	15,4	2,0	9,7 (9,3)	0,66	18,2
Пегас	EC-1118 (контроль)	15,4	0,0	10,1 (1,0)	0,92	16,2
	ENSIS LE-C1	11,6	66,1	9,7 (5,0)	1,12	11,4
	ENSIS LE-1	13,8	28,7	9,2 (8,8)	0,99	13,2
	ENSIS LE-5	13,5	34,0	9,3 (8,8)	0,86	15,8
	ENSIS- E-6	15,3	3,0	9,6 (5,9)	0,86	25,0
HIP ₀₅		0,2	1,1	0,2	0,03	0,3

За масовою концентрацією летких кислот виноматеріали відповідали чинним вимогам (не більше 1,3 г/дм³).

Залишковий екстракт у більшості варіантів був вищим від 12 г/дм³, на цей показник крім раси дріжджів (46%), впливали особливості сорту (17) та взаємодія факторів (46%). Негативний вплив раси дріжджів на показник виявився у виноматеріалах з ягід сорту Полка та Пегас у варіанті з расою ENSIS LE-C1, де залишковий екстракт був нижче за норму.

За результати хіміко-технологічної оцінки рас дріжджів (табл. 2) можна зробити висновок, що для зброджування сусел з ягід сорту Полка кращою буде раса дріжджів ENSIS LE-1 і ENSIS LE-6. Для зброджування високо цукристих сусел з ягід сорту Пегас — раси EC-1118 та ENSIS-LE-6.

Таблиця 2. Хіміко-технологічна оцінка рас дріжджів за виноматеріалами з ягід суниці урожаю 2016 року

Сорт суниці	Раса дріжджів	За тривалістю бродіння	Оцінка за вмістом:					Загальна оцінка
			спирту	залишкового цукру	втратами титрованих кислот	летких кислот	залишкового екстракту	
Полка	EC-1118 (контроль)	0,91	0,8	0,74	0,75	0,87	0,91	4,98
	ENSIS LE-C1	0,91	0,00	0,00	1,0	0,39	0,11	2,41
	ENSIS LE-1	1,00	0,95	1,00	1,00	0,94	0,92	5,81
	ENSIS LE-5	0,91	0,65	0,50	0,84	0,87	0,63	4,40
	ENSIS LE-6	0,91	1,00	1,00	0,47	1,00	1,00	5,38
Пегас	EC-1118 (контроль)	0,91	1,00	1,00	1,00	0,94	0,12	4,97
	ENSIS LE-C1	0,91	0,00	0,00	0,90	0,54	0,00	2,35
	ENSIS LE-1	1,00	0,20	0,00	0,42	0,87	0,00	2,49
	ENSIS LE-5	0,91	0,05	0,00	0,52	1,0	0,08	2,56
	ENSIS LE-6	1,00	0,95	1,00	0,81	1,00	1,00	5,76

Бродіння суничних сусел у 2017 р. тривало 91 добу. Фізико-хімічні показники якості виноматеріалів наведено у табл. 3.

Результати дисперсійного аналізу показують переважаючий вплив на формування якості виноматеріалів застосованої раси дріжджів. Сила впливу складала від 52 до 73% на всі фізико-хімічні показники виноматеріалів і лише на масову концентрацію титрованих кислот вагомніше впливали особливості сорту (сила впливу 55%).

Таблиця 3. Фізико-хімічні показники якості суничних виноматеріалів урожаю 2017 року

Сорт	Раса дріжджів	Об'ємна частка етилового спирту, %	Масова концентрація, г/дм ³			
			залишкових цукрів	титрованих кислот (втрати, %)	летких кислот	залишкового екстракту
Полка	EC-1118 (контроль)	15,0	37,0	10,0 (9,0)	0,83	25,8
	ENSIS LE-C1	14,8	41,0	10,7 (2,7)	0,70	34,7
	ENSIS LE-1	17,0	3,0	10,7 (2,7)	0,73	36,6
	ENSIS LE-5	17,2	0,0	10,4 (5,5)	0,86	29,1
	ENSIS LE-6	17,4	0,0	10,7 (2,7)	0,83	31,0
Пегас	EC-1118 (контроль)	16,0	3,0	11,2 (2,6)	0,90	27,8
	ENSIS LE-C1	14,3	31,0	11,0(4,5)	0,63	15,2
	ENSIS LE-1	15,2	17,0	10,7 (7,0)	0,53	30,2
	ENSIS LE-5	15,8	7,0	11,2 (2,6)	0,80	24,3
	ENSIS LE-6	15,4	14,0	11,4 (0,9)	0,76	25,1
HIP ₀₅		0,2	1,0	0,2	0,03	0,5

У суничних виноматеріалах з ягід урожаю 2017 р. накопичилося значно більше етилового спирту і більшість з них були придатні для виготовлення десертних вин. Виняток складали виноматеріали з ягід суниці сорту Полка, сформовані за участі рас дріжджів EC-1118 і ENSIS LE - C1, та з сорту Пегас — ENSIS LE-C1 і ENSIS LE-1. Проте об'ємна частка етилового спирту в них достатня для приготування солодких некріплених вин. У зазначених варіантах підвищена масова концентрація залишкових цукрів, отримано «недоброди». Лише у варіантах з ягід сорту Полка раси дріжджів ENSIS LE-5 і ENSIS-LE-6 повністю утилізували цукри сусел.

Вміст титрованих кислот у виноматеріалах з ягід обох сортів підвищений, що може бути виправлено егалізацією чи купажуванням. Летких кислот у виноматеріалах з ягід урожаю 2017 р. утворилося менше порівняно з аналогічними з ягід урожаю 2016 р. (див. табл. 1, 2).

Виноматеріали з ягід урожаю 2017 р. вигідно відрізнялися за масовою концентрацією залишкового екстракту, що перевищував допустиму норму в 1,3—3,1 раза. Дещо вищим вмістом характеризувалися виноматеріали з ягід сорту Полка порівняно з аналогічними з сорту Пегас. Можна припустити, що це пов'язано з вищим накопиченням додаткових продуктів бродіння.

Кращими були варіанти з суниці сорту Полка, зброджені расами дріжджів ENSIS LE-1 та ENSIS-LE-6, які переважали расу EC-1118, взяту за контроль. У виноматеріалах із сорту Пегас — з расою EC-1118 (табл. 4).

За показниками двох років (табл. 2, 4) можна рекомендувати для зброджування високоцукристих сусел з ягід суниці садової сорту Полка раси дріжджів ENSIS LE-1 і ENSIS LE-6, із сорту Пегас — EC-1118 і ENSIS LE-6.

Таблиця 4. Хіміко-технологічна оцінка рас дріжджів за виноматеріалами з ягід суниці врожаю 2017 року

Сорт суниці	Раса дріжджів	За тривалістю бродіння	Оцінка за вмістом					Загальна оцінка
			спирту	залишкового цукру	втратами титрованих кислот*	летких кислот	залишкового екстракту	
Полка	EC-1118 (контроль)	1,00	0,00	0,00	0,49	0,87	0,00	2,36
	ENSIS LE-C1	1,00	0,00	0,00	1,00	1,00	0,81	3,81
	ENSIS LE-1	1,00	0,80	1,00	1,00	0,97	1,00	5,77
	ENSIS LE-5	1,00	0,90	1,00	0,85	0,84	0,25	4,84
	ENSIS LE-6	1,00	1,00	1,00	1,00	0,87	0,44	5,31
Пегас	EC-1118 (контроль)	1,00	1,00	1,00	1,00	0,63	0,76	5,39
	ENSIS LE-C1	1,00	0,15	0,00	0,95	0,97	0,00	3,02
	ENSIS LE-1	1,00	0,60	0,30	0,70	1,00	1,00	4,60
	ENSIS LE-5	1,00	0,90	0,80	1,00	0,73	0,41	4,84
	ENSIS LE-6	1,00	0,70	0,45	1,00	0,77	0,49	4,41

Активна кислотність (табл. 5) впливає на смак, характеризує мікробіологічну стабільність харчових продуктів, визначається складом органічних кислот і ступенем їх дисоціації.

Важливим показником для виноматеріалів є окисно-відновний потенціал (табл. 5). Він характеризує ступінь їх окиснення. Чим нижчий цей показник, тим вища якість. З метою зниження ОБП у сусло можна вводити діоксид сірки або проводити теплове пастеризування виноматеріалів, за рахунок цього окисно-відновний потенціал може знижуватись на 6—11 мВ.

Таблиця 5. Активна кислотність та окисно-відновний потенціал некріплених виноматеріалів з ягід суниці

Сорт суниці	Раса дріжджів	Рік урожаю			
		2016		2017	
		Активна кислотність, од. рН	ОБП, мВ	Активна кислотність, од. рН	ОБП, мВ
1	2	3	4	5	6
Полка	EC-1118 (контроль)	3,54	199	3,62	193
	ENSIS LE-C1	3,64	197	3,61	193
	ENSIS LE-1	3,52	199	3,64	191
	ENSIS LE-5	3,56	198	3,64	192
	ENSIS LE-6	3,57	198	3,64	192

Продовження табл. 5

1	2	3	4	5	6
Пегас	EC-1118 (контроль)	3,51	202	3,70	188
	ENSIS LE-C1	3,48	205	3,65	191
	ENSIS LE-1	3,51	203	3,67	189
	ENSIS LE-5	3,57	200	3,67	189
	ENSIS LE-6	3,48	204	3,66	191
HIP ₀₅		0,03	2,4	0,03	2,1

Заключний висновок про доброякісність виноматеріалів та вин дається на підставі органолептичного дослідження. Результати дегустаційної оцінки некріплених виноматеріалів з ягід суниці наведено в табл. 6.

За інструкцією з визначення якості радянського шампанського, коньяків, виноматеріалів, винограду і плодово-ягідних гранично допустима норма оцінки нових виноматеріалів повинна бути не нижче 7 балів.

Беручи це до уваги, можна зробити висновок, що всі представлені зразки некріплених суничних виноматеріалів виявились придатними до впровадження у виробництво, крім виноматеріалу, виготовленого із сорту суниці Полка у 2016 р. і збродженого расою дріжджів ENSIS LE-C1 (табл. 6).

Таблиця 6. Дегустаційна оцінка некріплених суничних виноматеріалів, бал

Раса дріжджів	Роки досліджень			
	2016		2017	
	Сорти суниці			
	Полка	Пегас	Полка	Пегас
EC-1118 (контроль)	7,95	8,30	8,40	8,77
ENSIS LE-C1	6,65	8,14	7,99	8,60
ENSIS LE-1	7,56	7,37	7,03	7,79
ENSIS LE-5	7,34	7,73	7,76	8,17
ENSIS LE-6	7,76	7,38	8,20	7,80
HIP ₀₅	0,06		0,09	

Висновки

1. Ягоди суниці садової сортів Полка та Пегас придатні для виготовлення некріплених виноматеріалів. Через підвищену масову концентрацію титрованих кислот у досліджуваних виноматеріалах вони можуть бути використані для десертних чи солодких вин після егалізації чи для використання у купажах. Тому в майбутньому необхідно нормалізувати суничні сусли до бродіння за масовою концентрацією титрованих кислот: не вище 8,7 г/дм³ — для солодких та не вище 9,1 г/дм³ — для десертних вин.

2. Відповідні результати при формуванні якості виноматеріалів з ягід суниці садової сорту Полка забезпечують раси дріжджів ENSIS LE-1, ENSIS LE-6, з сорту Пегас — раса EC-1118, ENSIS LE-6. Зазначені раси можуть бути рекомендовані для застосування у виробництві суничних некріплених виноматеріалів.

Література

1. Луканин А.С. Украинское вино с импортным привкусом или что мешает производству качественного отечественного продукта. *Напитки. Инновации и Технологии*. 2014. № 1—2. С. 26—29.
2. Литовченко О.М. Про перспективи відновлення виноробної галузі України у сегменті малого виробництва виноградних та плодово-ягідних вин, медових напоїв та сидрів. URL: docs.infoindustria.com.ua/sdocs/agroindustry. Агроиндустрия [categories] Infoindustria sDocs.
3. Панасюк А.Л., Кузьмина Е.И., Егорова О.С. Трансформация сахаров и органических кислот в ягодных соках и производстве напитков и вин. *Напитки. Технологии и Инновации*. 2014. Январь—февраль. С. 75—77.
4. Скрыпник В.В. Фруктаны. Киев: Изд-во УСХА, 1992. 99 с.
5. Долл Т. Главный «секрет» настоящего винодела — наблюдать, контролировать и не делать больше ничего чем не обходимо. *Технологии. Инновации*. 2015. № 9. С. 22—24.
6. Взаимодействие микроорганизмов в виноделии: теоретические и практические аспекты. *Напитки. Технологии и Инновации*. 2014. № 5(34). С. 31—34.
7. Смірнова Ю.В., Голодок Л.П., Вінніков А.І. Біологічні особливості винних дріжджів роду *Saccharomyces*, що використовуються у виробництві виноматеріалів // Хімія та сучасні технології: тези доповідей V Міжнародної наук.-техн. конференції студентів, аспірантів та молодих вчених (Дніпропетровськ, 20—22 квітня 2011 р.). Дніпропетровськ, 2011. С. 505.
8. Селекция нового штамма винных дрожжей с высокой ферментативной активностью при минимальном синтезе SO_2 , H_2S и ацетальдегидов / Пер. И Монастерецкой. *Технологии. Инновации*. 2015. № 4. С. 24—26.
9. Gourraud C., Marullo P., Mansour C., and Dobourdieu D. (2009) Using directed breeding to improve yeast strains, *The Australian Grape grower and Winemaker*, January Issue, P. 63—68.
10. Boulton R.B., Singleton V.L., Bisson L.F. and Kunkee R.E. Principles and practices of winemaking, Aspen: Gaithersberg, Maryland, 1999. P. 172.
11. Гержикова В. Г. Методи техніко-хімічного контролю у виноробстві. Сімферополь: Таврида, 2009. 304 с.
12. Токар А.Ю., Войцехівський В.І. Методика визначення кращої раси дріжджів при виготовленні некріплених плодово-ягідних вин. *Наук. вісн. Нац. аграрного ун-ту*. Київ, 2008. Вип. 118. С. 245—250.

GERODIETETIC BAKERY PRODUCTS ENRICHED WITH VITAMIN D

O. Bortnichuk, O. Bilyk, V. Dozenko, V. Kovbasa

National University of Food Technologies

Key words:

*Fortification
Vitamin D3
Dry whey
Wheat brans
Phosphate concentrate
Staling*

Article history:

Received 08.11.2018
Received in revised form
20.11.2018
Accepted 03.12.2018

Corresponding author:

O. Bortnichuk
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The technological aspects of production of gerodietetic bakery products are given in the paper. For enrichment of bakery products with physiologically-functional ingredients and expansion of assortment of gerodietetic bakery products dry whey, wheat brans, β -galactosidase, vitamin D3 are proposed to use. To decrease negative influence on the quality of bakery products of the addition of wheat brans and dry whey phosphate concentrate and β -galactosidase are proposed to use. It is recommended to use vitamin D3 in bakery products for better assimilation of calcium.

It is installed that the optimal way of making dough is using dispersed phase, in which dry whey, phosphate concentrate, vegetable oil, β -galactosidase, vitamin D3, wheat brans are dispersed throughout 4...7 minute with speed rotation of the body with gradual increase in speed for 0.7 to 2.3 s⁻¹, and then dough is mixed on dispersed phase with the addition of flour and the rest of the ingredients of the formulation. Experimental results installed optimal wetness to be 44.0%. It is installed that designed bread "Grandmother's" has better organoleptic characteristics because of adding to the recipe investigated raw material and enhancers to improve the taste properties and aroma of finished products. Finished products keep freshness better than wheat bread: after 48 hours of storage the content of more firmly "bound" wetness in this sample was larger by 44.8% than in the control. It is also installed that the total deformation of crumb in samples with investigated raw materials and enhancers after baking and storage was higher. Developed products can be attributed to products with health properties because they cover day's necessity of organism in physiological-functional ingredients by 25% or more.

ХЛІБОБУЛОЧНІ ВИРОБИ ГЕРОДІЄТИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ, ЗБАГАЧЕНІ ВІТАМІНОМ D

О.В. Бортнічук, О.А. Білик, В.Ф. Доценко, В.М. Ковбаса

Національний університет харчових технологій

У статті розглянуто технологічні аспекти виробництва хлібобулочних виробів геродієтичного призначення. Для збагачення хлібобулочних виробів фізіологічно-функціональними інгредієнтами та розширення асортименту хлібобулочних виробів геродієтичного призначення запропоновано використовувати суху молочну сироватку, пшеничні висівки, β -галактозидазу, вітамін D₃. Для нівелювання негативного впливу на якість хлібобулочних виробів сумісного внесення пшеничних висівок та сухої молочної сироватки рекомендовано використовувати фосфатидний концентрат та β -галактозидазу. Для кращого засвоювання кальцію рекомендовано використовувати в хлібобулочних виробах вітамін D₃.

Встановлено, що оптимальним способом замішування тіста є використання диспергованої фази, за якої суха молочна сироватка, фосфатидний концентрат, рослинна олія, β -галактозидаза, вітамін D₃, пшеничні висівки диспергуються протягом 4...7 хв зі швидкістю обертання робочого органу з поступовим підвищенням швидкості з 0,7 до 2,3 с⁻¹. Після чого на диспергованій суміші замішується тісто з додаванням борошна і решти компонентів рецептури. Експериментальними дослідженнями визначено оптимальну вологість тіста 44,0%. Встановлено, що розроблений хліб «Бабусин» має кращі органолептичні показники за рахунок внесення до рецептури досліджуваної сировини та поліпшувачів, які покращують смакові властивості та аромат готових виробів. Готові вироби зберігають свіжість краще, ніж хліб пшеничний. Так, через 48 год зберігання вміст більш міцно «зв'язаної» вологи у цьому зразку був більшим на 44,8 %, якщо порівняти з контролем. Загальна деформація м'якушки зразків із досліджуваною сировиною та поліпшувачами після випікання та зберігання вища. Розроблені вироби можуть бути віднесені до виробів з оздоровчими властивостями, оскільки покривають добову потребу організму в фізіологічно-функціональних інгредієнтах на 25% і більше.

Ключові слова: фортифікація, вітамін D₃, суха молочна сироватка, пшеничні висівки, фосфатидний концентрат, черствіння.

Постановка проблеми. Для забезпечення організму поживними речовинами, здійснення профілактики та лікування захворювань необхідно харчові продукти, які збалансовані за життєво необхідними інгредієнтами, зокрема амінокислотним складом білків, вмістом харчових волокон, вітамінів і мінеральних речовин. Хліб у харчуванні людей похилого віку є складовою щоденного харчування. Дієтологами рекомендується для людей похилого віку споживати хлібобулочні вироби вчорашньої випічки. Тому підвищення харчової цінності та подовження тривалості зберігання хліба за рахунок використання

вторинних продуктів переробки зернової та молочної сировини, вітамінів є пріоритетним напрямом у вирішенні проблеми харчування людей похилого віку.

Процес черствіння знижує споживчі властивості хліба, зокрема органолептичні. Найбільш характерними ознаками черствіння є зміна аромату й смаку, підвищення жорсткості та зниження пружності як скоринки і м'якушки окремо, так і цілого виробу. Подовження термінів свіжості випеченого хліба є актуальним завданням науковців для надання рекомендацій виробникам хлібобулочних виробів. У зв'язку з цим актуальним є розроблення технології хліба геродієтичного призначення з подовженим терміном зберігання. Дослідження здійснювалася відповідно до тематики науково-дослідної роботи «Наукові засади розроблення інноваційних технологій хлібобулочних виробів підвищеної харчової цінності та термінів їх зберігання» (державний реєстраційний номер 0116U001529).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Хлібобулочні вироби як продукти масового споживання найбільш доступні для корекції харчової та біологічної цінності раціону людини. Незважаючи на досить широкий вітчизняний асортимент, частка виробів оздоровчого призначення в загальному об'ємі виробництва не перевищує 1...2% [1—3].

Хлібобулочні вироби виробляються, зазвичай, із борошна вищих сортів, тому вони мають досить високу енергетичну цінність, адже борошно на 70% складається із вуглеводів, які легко засвоюються. Білкові речовини хліба складають лише 6,5...11%. Вони представлені власне білками, а також продуктами їх гідролізу — пептидами, поліпептидами, амідами та амінокислотами, серед яких присутні всі вісім незамінних. Проте кількість триптофану, лізину та метіоніну досить низька і є лімітованою [4—7].

Відомо, що співвідношення білків і вуглеводів складає 1:7, що не відповідає формулі раціонального харчування. Також хлібобулочні вироби у своєму складі містять невелику кількість вітамінів, мінеральних речовин і харчових волокон, тому вони є продуктами, які необхідно збагачувати біологічно активними речовинами за рахунок нетрадиційних видів сировини. Це дасть змогу також розширити асортимент виробів, надати їм різноманітності за смаковими ознаками.

Світові тенденції зниження калорійності раціону харчування зумовлюють необхідність розширення асортименту продуктів харчування, зокрема хлібопекарських виробів, які б характеризувались підвищеним вмістом харчових волокон. Основною сировиною-джерелом харчових волокон у хлібопекарській промисловості є вторинні продукти переробки борошномельного виробництва — пшеничні висівки.

Науковцями доведено, що пшеничні висівки є джерелами харчових волокон, які містять (%): білки — 16...18%, крохмаль — 14...26%, клітковину — 5...30%, мінеральні речовини — 2...7 % та вітаміни (мг %): РР — 9...14, В₁ — 1,0...1,2, Е — 21...33. Їхні білки більш цінні, якщо порівняти з білками пшеничного борошна, за амінокислотним складом [8; 9].

Пшеничні висівки мають понижено калорійність, є регуляторами обміну речовин в організмі людини, завдяки «перистальтичній» дії покращують роботу шлунково-кишкового тракту, сприяють виведенню з організму нещіль-

ного холестерину, продуктів розкладу, знижують рівень глюкози в крові, сприяють розвитку корисних бактерій та бактеріальному синтезу вітамінів групи В і РР, створюють відчуття насичення, запобігаючи зловживанню висококалорійною їжею, знижують енергетичну цінність продукту, мають проти-запальні, послаблюючі та загальнозміцнюючі властивості [10].

Підвищення харчової та біологічної цінності хлібобулочних виробів можна здійснювати за рахунок збільшення в них білка, забезпечення збалансованого амінокислотного складу та внесенням до рецептури виробів харчових волокон.

Один із напрямів покращення біологічної цінності хлібобулочних виробів є залучення до технології продуктів переробки молока. До їх складу входять високоефективні білкові речовини, збалансовані за лізином, триптофаном і метіоніном, добре засвоюваний організмом кальцій, вітаміни групи В та РР, а також молочний цукор і жир [11; 12]. Молочні білки здатні при розщепленні із кишківника безпосередньо проникати в кров. Кальцій молока, на відміну від кальцію рослинних продуктів, зв'язаний з білком, а не з інозитфосфорною кислотою, тому більшою мірою і за простішим механізмом всмоктується в даному відділі шлункового-кишкового тракту [1; 14].

СМС має цілий ряд переваг — транспортабельна, тривалий термін зберігання, легкість у використанні. В сухій молочній сироватці міститься близько 70% лактози, 14% білка, до 8% мінеральних речовин. Порівняно із борошном, молочна сироватка значно багатша на незамінні амінокислоти. Лимонна, щавлева та молочні кислоти, які входять до складу СМС, позитивно впливають на якісні показники хлібобулочних виробів. До складу сироватки кальцію входить у 57 разів більше, ніж до борошна. Суху молочну сироватку можна розглядати як цінний мінеральний збагачувач, вона містить в рази більше калію, магнію, йоду, натрію, ніж хліб. Мінеральний склад харчового раціону при щоденному вживанні хліба з СМС значно покращує добове забезпечення кальцію, магнію та фосфору [12]. Використання СМС в оптимальних кількостях дає змогу інтенсифікувати процес тістоприготування, підвищити біологічну якість хліба.

У [15; 16] доведено, що завдяки ферментативному гідролізу лактози можна нівелювати її негативний вплив на реологічні й мікробіологічні процеси в тісті та якість готових виробів. У результаті ферментної модифікації дисахариду утворюється еквімолярна кількість глюкози та галактози. Глюкоза досить легко асимілюється хлібопекарськими дріжджами, а галактоза бере активну участь реакції Майяра, що надає кінцевому продукту приємного кольору та смаку. Як промислові продуценти β -галактозидази використовують дріжджі, мікроскопічні гриби і бактерії. Грибна β -галактозидаза більш стабільна, ніж дріжджова і бактеріальна.

У харчовій промисловості використовують широкий спектр ПАР (фосфатидні концентрати, моно- та дигліцериди жирних кислот, їхні суміші, ефіри поліоксіетиленгліколю, сорбіту, пропіленгліколю, сахарози тощо), що різняться між собою хімічним складом, будовою та характером впливу на компоненти харчових систем, в які їх вносять. Також їх використовують для подовження свіжості хлібобулочних виробів, які вступають у взаємодію з біополімерами

борошна, утворюючи складні комплексні сполуки, що поліпшують структурно-механічні властивості тіста та якість хлібобулочних виробів [17].

Останнім часом проблеми, пов'язані зі структурно-функціональними порушеннями кісткової тканини у людей старшого віку, набули значної актуальності і все частіше привертають до себе увагу як науковців, так і лікарів [18].

Основним завданням у лікуванні остеопорозу є нормалізація процесів кісткового ремоделювання, насамперед пригнічення прискореної кісткової резорбції та стимулювання зниженого кісткоутворення, що приводить до підвищення мінеральної щільності кісткової тканини або принаймні до її стабілізації та покращення якості кістки, зниження кількості нових травм [19].

Відомо, що проліферація та диференціювання остеобластів, синтез специфічних білків, ферментів, мінеральний обмін кістки регулюються передусім активними метаболітами вітаміну D₃. Вони зменшують резорбцію кісткової тканини, сприяють мобілізації Ca в кістку [20].

Названі фактори вказують на можливість використання сухої молочної сироватки, пшеничних висівок, фосфатидних концентратів, β-галактозидази для створення хлібобулочних виробів геродієтичного призначення.

Метою дослідження є розширення технології хліба геродієтичного призначення шляхом збагачення харчовими волокнами, незамінними амінокислотами, вітамінами з урахуванням технологічних властивостей вторинних сировинних ресурсів.

Матеріали і методи. Матеріалом досліджень було обрано пшеничні висівки, суха молочна сироватка, фосфатидний концентрат, β-галактозидаза нового покоління, вітамін D₃, тісто та хліб з пшеничного борошна першого сорту.

Методи досліджень — органолептичні, фізико-хімічні, загальноприйняті та спеціальні, виконані з використанням сучасних приладів та інформаційних технологій.

Викладення основних результатів досліджень. Під час розробки рецептури хліба геродієтичного призначення рекомендовано використовувати суху молочну сироватку ПП «Карпатські зорі», вміст білка в якій складає 15,9%. Крім того, сироватка багата на кальцій [21]. Як харчові волокна рекомендовано використовувати пшеничні висівки виробництва ВАТ «Агрокапітал України». Ці висівки характеризуються високим вмістом харчових волокон, низьким гранулометричним складом, що забезпечує кращі показники пористості та зовнішнього вигляду готових виробів [22]. Для ферментативного гідролізу сухої молочної сироватки запропоновано використовувати β-галактозидазу [22]. Із зростанням тенденції до здорового харчування використання фосфатидних концентратів особливо актуальне, оскільки фосфоліпіди є обов'язковими компонентами клітинних мембран усіх живих організмів, які виконують роль несучих конструкцій і беруть участь у процесах обміну речовин. Рекомендовано в технології хлібобулочних виробів використовувати знежирений соняшниковий фосфатидний концентрат [22]. У людей похилого віку засвоєння кальцію організмом покращується при наявності вітаміну D₃, високому вмісті білків та лактози, оптимальному співвідношенні з фосфором і магнієм. Проте погіршується його засвоєння при високій

концентрації калію, магнію і фосфору [22]. Використання фосфатидного концентрату, окрім підвищення якості готового виробу, забезпечує зменшення втрати вітаміну D₃ у разі приготування хліба в два рази [22].

У результаті досліджень [22] розроблено рецептуру хліба геродістичного призначення «Бабусин» (табл. 1).

Таблиця 1. Уніфікована рецептура хліба «Бабусин», кг/100 кг борошна

Найменування сировини	Витрата сировини, кг
Борошно пшеничне першого сорту	100,0
Дріжджі хлібопекарські пресовані	3,0
Сіль кухонна харчова	1,5
Фосфатидний концентрат	0,7
Рослинна олія	4,0
Суша молочна сироватка	5,0
Пшеничні висівки	10,0
β-галактозидаза до маси сухої молочної сироватки	1:3500
Вітамін D ₃	15 мг/100 кг борошна

У зв'язку з використанням вітаміну D₃ необхідна спеціальна технологічна підготовка інгредієнтів перед їх змішуванням з пшеничним борошном.

Для реалізації технології було запропоновано використовувати дисперговану фазу. Призначення диспергової фази пов'язано з формуванням технологічних властивостей тіста та якості хліба з досліджуваною сировиною, а її обґрунтованість наведено у вигляді табл. 2.

Таблиця 2. Призначення диспергової фази в технології хліба геродістичного призначення

Технологічні операції	Мета технологічної операції	Роль у формуванні властивостей тіста та якості хлібобулочних виробів
Використання вітаміну D	Рівномірне розподілення вітаміну в об'ємі розчину, що забезпечує рівномірність розподілу у всьому об'ємі готового виробу	Не впливає на властивості тіста та якість хлібобулочних виробів
Використання рослинної олії	Розчинення вітаміну D ₃	Надання тісту еластичності
Використання ПАР	Збільшення питомої поверхні взаємодії зі складовими борошна в тістовій системі	Формування пружно-еластичних властивостей клейковини і тіста
Використання β-галактозидази	Рівномірне розподілення ферменту в об'ємі розчину, що покращує процес ферментативної модифікації лактози	Інтенсифікація спиртового бродіння в тісті
Нагрівання води ($t = 40 \dots 45^\circ\text{C}$), призначеної для диспергування	Отримання рівноважної колоїдної системи з температурою 31...33°C	Інтенсифікація процесу диспергування
Диспергування інгредієнтів рецептури		Рівномірний розподіл компонентів

Особливостями технологічного процесу виробництва хліба на диспергованій фазі запропонована подовжена механічна обробка тіста тривалістю 15 хв. Диспергована фаза складається із суміші води температурою 45...50°C в кількості 65...85% від загальної розрахункової кількості, сухої молочної сироватки в кількості 5% до маси борошна, фосфатидного концентрату в кількості 0,7% до маси борошна, рослинної олії в кількості 4,5% до маси борошна, β -галактозидази у співвідношенні до лактози СМС як 1:3500, вітаміну D₃ у кількості 0,015% до маси борошна з додатковим внесенням пшеничних висівок у кількості 10% до маси борошна.

Подальші дослідження стосувалися визначення вологості тіста, як важливого параметра тістоприготування. Від її величини залежить інтенсивність фізико-хімічних, біохімічних, мікробіологічних і колоїдних процесів, консистенція тістових напівфабрикатів і вологість хліба.

Для встановлення оптимальної вологості готували зразки тіста з масовою часткою води 43,0; 44,0 та 45,0%. Тісто готували за рецептурою, наведеною в табл. 1. Визначали вплив масової частки води на технологічний процес і якість виробів. Результати досліджень наведені в табл. 3.

Таблиця 3. Вплив вологості тіста на показники технологічного процесу та якість готових виробів

Показники якості	Тісто		
	43	44	45
Масова частка води, %	43	44	45
Тривалість бродіння, хв	180		
Газоутворення, см ³ /100 г	563	565	556
Розпливання, %	185	191	198
Консистенція	Сухо на дотик, добре формується		З'являється липкість, погано формується
	Хліб		
Питомий об'єм, см ³ /100г	323	331	315
Формостійкість, Н/Д	0,39	0,38	0,35
Пористість, %	70	71	68
Кислотність, град	2,4	2,3	2,2
Характеристика м'якушки	Еластична, з добре розвинутою пористістю, рівномірна		Еластична, крупна, нерівномірна

Встановлено, що зі збільшенням вологості тіста в'язкість тіста зменшується, про це свідчить збільшення його розпливання на 3,3 та 7,7% відповідно. На сумарне газоутворення підвищення води практично не впливає.

За масової частки води 43,0% і 44,0% тісто було сухе на дотик, добре формувалося. За вологості 45,0% — ставало вологим на дотик, з'явилась липкість, ускладнювалось формування, погіршувалась формостійкість виробів на 10,3%, якщо порівняти із зразком тіста вологістю 43,0%. Кращі показники якості за об'ємом, пористістю, станом м'якушки, характером її пор були у хліба в разі приготування тіста з масовою часткою води 44,0%.

У технології хліба тісто здебільшого готують опарним або безопарним способом, залежно від виду виробів, їх рецептурного складу. Кожен з них має свої переваги та недоліки.

За безопарного способу тривалість технологічного процесу майже вдвічі менша, ніж за опарного, необхідно менше технологічного обладнання, але якість виробів дещо нижча за станом м'якушки, смаковими характеристиками.

Опарний спосіб, порівняно з однофазним, більш гнучкий, має менші витрати дріжджів для приготування тіста. Хліб за цього способу кращий на смак і аромат, довше зберігає свіжість. Проте за опарного способу досить тривалий технологічний процес (4,5...5 год).

За вибору способу приготування тіста, особливо при використанні нетрадиційної сировини, яка має відмінні від борошна хімічний склад і технологічні властивості, основним критерієм має бути забезпечення високих показників якості хлібобулочних виробів.

Під час проведення досліджень тісто готували трьома різними способами:

1. Безопарним — всі складові рецептури вносили безпосередньо до борошна і проводили заміс тіста. Тривалість замішування протягом 15 хв з масовою часткою вологи 44%. При зазначеному способі вносили 3% пресованих дріжджів.

2. На традиційній густій опарі — опару готували вологістю 47% з використанням половини борошна, внесенням всієї кількості ПВ, СМС, лецитину та ферменту β -галактозидази. В опару вносили 1% пресованих дріжджів. Тривалість її бродіння була 3,5 год при 28...32°C. Тісто з масовою часткою вологи 44% замішували протягом 15 хв, тривалість бродіння тіста на опарі була 75...80 хв.

3. На диспергованій фазі, рецептура якої наведена вище, компоненти суміші диспергуються протягом 4...7 хв зі швидкістю обертання робочого органа з поступовим підвищенням швидкості з 0,7 до 2,3 с^{-1} і, після чого на диспергованій суміші замішується тісто з додаванням борошна і решти компонентів рецептури.

Як показали результати досліджень (табл. 4), кращі показники якості виробів були зафіксовані при приготуванні тіста на диспергованій фазі.

Таблиця 4. Вплив способу приготування тіста з композиційною сумішшю на якість хліба

Показник	Спосіб приготування тіста		
	Безопарний	На диспергованій фазі	На традиційній густій опарі
Хліб			
Питомий об'єм, $\text{см}^3/100 \text{ г}$	280	331	288
Кислотність, град.	2,2	2,2	2,2
Пористість, %	68	74	70
Формостійкість, Н/Д	0,39	0,42	0,40
Загальна деформація м'якушки, од. пенетрометра:			
- через 1 добу	94	110	96
- через 2 доби	80	92	82
Характеристика м'якушки	Менш еластична	Еластична	Еластична

Приготовлений на диспергованій фазі хліб мав на 14,9...18,2% більший питомий об'єм порівняно з хлібом, що готувався безопарним та опарним

способом, мав добре розвинуту, рівномірну пористість, яка також була більшою на 5,7...8,8%.

Це можна пояснити тим, що основними технологічними функціями фосфатидних концентратів у хлібопеченні є емульгування, комплексоутворення з крохмалем, взаємодія з білками, зміна в'язкості та модифікація кристалів.

Отже, саме в складі диспергованої фази фосфатидний концентрат може максимально реалізувати свою технологічну роль, яка ґрунтується на дифільній будові молекули фосфатидного концентрату, тобто містить у своєму складі полярну гідрофільну (негативно заряджений залишок фосфорної кислоти) і катіонна група основи холіну які розміщуються на протилежних кінцях молекули. Гідрофільна група забезпечує розчинність у воді, а гідрофобна — у жирах.

Завдяки цьому відбувається рівномірне розосередження фосфатидного концентрату у складі диспергованої фази, його взаємодія з білками, складовими крохмалю та пшеничних висівок. Крім того, фосфатидний концентрат диспергує жир на мілкі жирові кульки, що перешкоджає їх злипанню і стабілізує емульсію. В такому стані часточки жиру при замісі тіста краще розосереджуються між рецептурними компонентами, утворюючи тонкі плівки. При бродінні дріжджового тіста ці плівки «обгортають» утворений діоксид вуглецю і перешкоджають його виходу із тіста.

У результаті проведених досліджень встановлено, що приготування хліба в рецептуру якого включені пшеничні висівки, суха молочна сироватка, фосфатидний концентрат та рослинна олія на диспергованій фазі забезпечує більш високі показники якості готової продукції, якщо порівняти з безопарним та опарним способами виробництва. При цьому рекомендована частка вологи в тісті має складати 44%.

За цим способом об'єм хліба був більшим на 14,9...18,2%, порівняно з додаванням сировини безпосередньо в тісто чи в опару, кращою була пористість (на 5,7...8,8%) і стан м'якушки.

Це можна пояснити тим, що при доданні пшеничних висівок в опару розчинні харчові волокна довше контактують зі складовими борошна, що призводить до погіршення структурно-механічних властивостей тіста. При використанні безопарного способу приготування тіста, очевидно, ПАР не сповна проявляв свої властивості, що негативно впливало на якісні характеристики готових виробів.

Смак і аромат хлібобулочних виробів є одним із основних органолептичних показників саме цього виду продукції у споживачів, тому їх якість і стійкість у процесі зберігання є суттєвою ознакою. Приємний смак і аромат хліба сприяють підвищенню секреції ферментів шлунково-кишкового тракту і цим забезпечують швидше та якісніше засвоєння поживних речовин.

Формування смаку й аромату хліба залежить від хімічного складу його рецептурних компонентів, технології приготування та способу випікання.

Значна частина ароматичних речовин накопичується під час дозрівання тістових напівфабрикатів, що пов'язано з активністю біохімічних і мікробіологічних процесів. Так, на смак і аромат виробів значною мірою впливає вміст органічних кислот, що накопичуються в процесі бродіння тіста, їх склад, співвідношення молочної та оцтової кислот.

Утворення ароматичних речовин під час випікання залежить від його тривалості й температури, наявності та співвідношення редукувальних цукрів і амінокислот. До ароматичних сполук належать леткі кислоти, спирти, ефіри, альдегіди та кетони, які утворюються під час випікання [23].

Зберігання хліба призводить до зменшення інтенсивності й виразності аромату, оскільки ароматичні речовини із скоринки частково звітряються, а частково мігрують до м'якушки і з часом адсорбуються на її складових, що призводить до втрати виробами аромату. Тому було визначено вміст ароматичних речовин у скоринці і м'якушці дослідних зразків. Визначення проводили за методом Токаревої та Кретовича, що базується на зв'язуванні карбонільних сполук бісульфітом натрію [24]. Зміну вмісту бісульфітзв'язуючих сполук досліджували через 4 та 48 год після випікання (табл. 5).

Таблиця 5. Вплив досліджуваної сировини та поліпшувачів на утворення бісульфітзв'язуючих речовин

Тривалість зберігання, год	Вміст бісульфітзв'язуючих речовин у хлібі, мг-екв./100г	
	контроль	хліб «Бабусин»
	М'якушка	
4	5,1	6,4
48	2,6	5,5
	Скоринка	
4	11,9	15,8
48	7,8	9,1

Дослідження показали, що всі зразки мали краще забарвлену скоринку, якщо порівняти з контролем, що свідчить про наявність у їх скоринці більшої кількості бісульфітзв'язуючих речовин. Очевидно, це пов'язано із внесенням до рецептури хліба «Бабусин» додаткової кількості білків, амінокислот, моносахаридів і лактози з сухою молочною сироваткою та пшеничними висівками.

Встановлено, що початковий рівень бісульфітзв'язуючих речовин для дослідних зразків у скоринці був вищий на 25,5...33,3%, у м'якушці — на 31,1...36,1% на початку зберігання та у скоринці — на 111...127%, у м'якушці — на 16,9...29,5% через 48 год після випікання, якщо порівняти з контрольним зразком.

Отримані результати підтверджують, що внесення до рецептури досліджуваної сировини та поліпшувачів покращує смакові властивості й аромат готових виробів.

Процес черствіння хліба є комплексом процесів, які одночасно відбуваються у білкових речовинах, складного перерозподілу вологи в м'якушці і ретроградацією крохмальних зерен. Практично свіжий хліб повинен мати хорошу стисливість усього виробу, м'якість і еластичність м'якушки, приємний смак та аромат.

При зберіганні хлібобулочні вироби втрачають привабливість для споживача — відбувається усихання скоринки і підскоринкових шарів м'якушки. Це

надає виробам жорсткості. Поряд з усиханням відбувається процес старіння колоїдних систем м'якушки, крохмалю і білків, хлібобулочні вироби черствіють.

Відомо, що при внесенні до рецептури хлібобулочних виробів такої сировини, як пшеничні висівки, які володіють високими вологоутримувальними та водопоглинальними властивостями, та фосфоліпиду, спостерігається сповільнення черствіння готових продуктів.

Під час проведення досліджень визначали структурно-механічні властивості м'якушки за пенетрометром АП-4/І, її кришкуватість і водопоглинальну здатність, якщо порівняти з контрольним зразком хліба, що виготовлявся з борошна першого сорту (табл. 6). Визначення проводили після випікання та через 24 і 48 год після випікання.

Таблиця 6. Показники деформації м'якушки хлібобулочних виробів геродістичного призначення

Показники	Деформація м'якушки, од. приладу	
	Контроль	Хліб «Бабусин»
Після випікання:		
загальна	65	68
Через 24 години:		
загальна	48	53
Ступінь збереження свіжості, %	74	78
Через 48 годин:		
загальна	30	38
Ступінь збереження свіжості, %	46	56

Встановлено, що загальна деформація м'якушки зразків із досліджуваною сировиною та поліпшувачами після випікання є вищою на 4,6...7,7%. При зберіганні 24 та 48 год розроблені вироби зберігають кращу свіжість і мають вищі показники деформації м'якушки, якщо порівняти з контролем.

Очевидно, це пов'язано з використанням емульгатора в рецептурі нових виробів. Білки борошна і сухої молочної сироватки, взаємодіючи з ПАР, утворюють комплекси ПАР-білок, які відіграють важливу роль у формуванні і підтримці структурно-механічних властивостей тіста й хліба.

Крім того, завдяки утвореним комплексам діоксин вуглецю затримується у тістовій заготовці, розвиваючи таким чином питомий об'єм готового виробу і пористість м'якушки, що безпосередньо пов'язано з подовженням терміну зберігання свіжості. Сприяють збереженню свіжості хліба також лактоза і продукти її гідролізу.

Основну роль у збереженні свіжості хлібобулочних виробів відіграє «зв'язана» волога. Чим більший вміст «зв'язаної» вологи в готовому виробі, тим довший термін його зберігання. В пшеничному борошні вміст «зв'язаної» вологи коливається в межах 30...40%. Вся інша волога знаходиться у вільному стані і може брати участь у біохімічних перетворюваннях, які проходять при зберіганні хлібобулочних виробів.

З табл. 7 видно, що початковий вміст «зв'язаної» вологи для розроблених виробів є вищим на 1,6...2,8%, а її втрати при зберіганні є меншими на 37,9...44,8%, якщо порівняти з контролем.

Таблиця 7. Втрати «зв'язаної» вологи у розроблених виробках

Зразки	Тривалість зберігання, год	Масова частка вологи, % до загальної кількості		Втрати «зв'язаної» вологи, %
		«вільна»	«зв'язана»	
Хліб пшеничний (контроль)	24	78,4	24,0	5,8
	48	84,0	18,2	
Хліб «Бабусин»	24	73,5	26,5	3,3
	48	76,8	23,2	

Так, через 48 год зберігання вміст більш міцно «зв'язаної» вологи у цьому зразку перевищував контрольні показники на 44,8%.

Очевидно, це обумовлено вмістом у рецептурі розроблених виробів білків, інших гідрофільних речовин та емульгатора, який частково вступає у взаємодію із білками тіста та крохмалю, утворюючи комплекси, які більш міцно зв'язують вологу. Результати, отримані за допомогою дериватографа, корелюють з одержаними на пенетрометрі.

Враховуючи положення наукової гіпотези щодо підвищення харчової та біологічної цінностей хлібобулочних виробів геродієтичного призначення, досліджено вміст основних харчових речовин у розроблених виробках. Як контрольний зразок обрано хліб, виготовлений з борошна першого сорту, як дослідний — хліб «Бабусин»

Таблиця 8. Харчова та енергетична цінності хлібобулочних виробів геродієтичного призначення

Найменування виробу	Білки, г	Жири, г	Вуглеводи, г	Енергетична цінність, ккал
Контроль	7,2	3,6	46,1	245
Хліб «Бабусин»	9,7	2,4	44,8	223

Таблиця 9. Забезпечення добової потреби в основних нутрієнтах і харчових волокнах при споживанні 277 г хліба «Бабусин», розрахунок проводився для чоловіків, які зайняті легкою працею (II група інтенсивності праці)

Харчові речовини	Середня добова потреба	Міститься в 277 г хліба		Покриття добової потреби, %	
		Контроль	Хліб «Бабусин»	Контроль	Хліб «Бабусин»
Білки, г	55	19,9	26,9	36,18	48,9
Жири, г	56	0,9	0,5	1,6	0,89
Вуглеводи, г	320	75,2	61,3	23,5	19,2
Харчові волокна, г	25	2,5	11,5	10	46,0
Мінер. речовини, мг:					
кальцій	1100	18	48	1,6	4,4
фосфор	1200	87	302	7,3	25,2
магній	350	16	—	4,6	—
залізо	17	1,2	—	7,1	—
Вітаміни, мг:					
тіамін	1,3	0,17	0,51	13,0	39,2
рибофлавін	1,6	0,08	0,18	5,0	11,6
Вітамін D ₃ , г	0,01	0	0,025	0	250
Енергетична цінність, ккал	2500	678,7	617,7	27,1	24,7

У результаті проведених досліджень підтверджена теорія щодо підвищення харчової й біологічної цінності хлібобулочних виробів з використанням сухої молочної сироватки та пшеничних висівок.

Отже, розроблені вироби можуть бути віднесені до виробів з оздоровчими властивостями, оскільки забезпечують добову потребу організму в фізіологічно-функціональних інгредієнтах на 25% і більше.

Висновки

У результаті експериментальних досліджень розроблено рецептуру хліба геродієтичного призначення «Бабусин», у склад якого входять пшеничні висівки, суха молочна сироватка, вітамін D₃, фермент β-галактозидазду та фосфатидний концентрат.

Проведені дослідження показали, що оптимальною вологістю тіста є 44,0%. Пшеничні висівки, суху молочну сироватку, вітамін D₃, фермент β-галактозидазду та фосфатидний концентрат слід вносити в тісто у вигляді диспергованої фази, що забезпечує високу якість готових виробів.

Встановлено, що розроблений виріб краще зберігає свіжість, ніж хліб пшеничний, має кращий аромат, що підтверджено збільшенням в цих výroбах бісульфітв'язуючих сполук у скоринці та м'якушці.

Доведено, що хліб «Бабусин» має більш цінний хімічний склад, ніж хліб тільки з пшеничного борошна за вмістом білка, харчових волокон, вітамінів, мінеральних речовин.

Література

1. Васильченко А.Н. Состояние и перспективы развития хлебопекарной промышленности в Украине. *Харчова наука і технологія*. 2009. № 1. С. 5—8.
2. Арсеньєва Л.Ю. Наукове обґрунтування та розроблення технології функціональних хлібобулочних виробів з рослинними білками та мікронутрієнтами: дис. ... доктора техн. наук: 05.18.01 / Арсеньєва Лариса Юріївна. Київ, 2007. 325 с.
3. Капрельянц Л.В., Іоргачова К.Г. Функціональні продукти: монографія. Одеса: Друк, 2003. 312 с.
4. Росляков Ю.Ф., Вершинина О.Л., Гончар В.В. Научные основы разработки хлебобулочных изделий функционального назначения. Кондитерское и хлебопекарное производство. 2009. № 8. С. 34—35.
5. Сафонова О.М. Наукове обґрунтування та розроблення технологій борошняних кондитерських і хлібопекарських продуктів з використанням нетрадиційної борошняної сировини: дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.01 / НУХТ. Київ, 2007. 335 с.
6. Designing and implementing health care provider payment systems [Electronic resource]: how-to manuals / ed.: J. C. Langenbrunner, S. O'Dougherty ; ed. C.Cashin. Washington D.C.: The World Bank, 2009. 348 p.
7. Доронин, А. Ф. Функциональное питание / А. Ф. Доронин, Б. А. Шендеров. М. : ГРАНТЬ, 2002. 402 с.
8. Арсеньєва Л.Ю., Борисенко О.В., Доценко В.Ф. Теоретичні та практичні аспекти використання тонкодиспергованих концентратів харчових волокон у технології житньо-пшеничного хліба. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2008. № 25. С. 115—119.
9. Борисенко О.В. Удосконалення технології хлібобулочних виробів, збагачених харчовими волокнами: дис... канд. тех. наук 05.18.01 / НУХТ. Київ, 2008. 234 с.

10. Юрчак В.Г. Наукове обґрунтування та розроблення технології макаронних виробів поліпшеної якості та профілактичного призначення шляхом використання нетрадиційної сировини і харчових добавок : дис. ... доктора техн. наук : 05.18.01 / Київ, 2003. 315 с.
11. Буганцов Ю.А. Свойства молочных белков. *Мяс. технол.* 2009. № 5. С. 34.
12. Буйлова Л.А., Острцова Н.Г. Производство сухой сыворотки *Переработка молока.* 2008. № 9. С. 40—41.
13. Юкало А.В., Сторож Л.А., Юкало В.Г. Протеїни казеїнового комплексу молока корів (*Bos taurus*) як попередники біологічно активних пептидів. *Biotechnologia Acta.* 2012. Т. 5, № 4. С. 21—33.
14. Разработка технологий молочно-растительных продуктов питания / Т.М. Бойцова, Т.К. Каленик, Д.В. Ряписов и др. *Пищевая промышленность.* 2011. № 3. С. 12—14.
15. Ткачук Ю.М. Технологія хлібобулочних виробів, збагачених молочними білками: дис. ...кандидата техн. наук: 05.18.01 / Ткачук Юрій Михайлович. Київ, 2014. 324 с.
16. Савчук Н.І. Удосконалення технології хліба з борошна зі зниженими хлібопекарськими властивостями шляхом використання поліпшувачів: Дис. ...канд. тех. наук: 05.18.01. Київ, 2002. 185 с.
17. Вплив жирових композицій та емульгаторів на поліпшення споживчих властивостей хліба. *Хлібопекарська і кондитерська промисловість України.* 2011. № 6(79). С. 17—18.
18. DeLuca H.F. Overview of general physiologic features and functions of vitamin D [Текст]. *American Journal of Clinical Nutrition.* Vol. 80(6). P. 1689—1696.
19. Vitamin D and bone [Текст] / Suda T, Ueno Y, Fujii K. et al. *J Cell Biochem.* 2002. Vol. 88. P. 259—266.
20. Underwood J.L., DeLuca H.F. Vitamin D is not directly necessary for bone growth and mineralization [Текст]. *Am J Physiol.* 1984. Vol. 246. P. 493—498.
21. Бортнічук О.В., Гавриш А.В., Неміріч О.В., Доценко В.Ф. Інноваційні підходи в технології хлібобулочних виробів з сухою молочною сироваткою. *Харчова наука і технологія.* 2015. № 2(31). С. 97—102.
22. Бортнічук О.В. Удосконалення технології хлібобулочних виробів геродіетичного призначення: Дис. ...канд. тех. наук: 05.18.16. Київ, 2018. 152 с.
23. Роте М., Еникеевой Н.Г., Вейцель Э.Я. Аромат хлеба / под ред. Л.Я. Ауэрмана. Москва: Пищ. пром-сть, 1988. 230 с.
24. Технохімічний контроль сировини та хлібобулочних і макаронних виробів : навчальний посібник [Текст] / за ред. чл.-кор. В.І. Дробот. Київ: НУХТ, 2015. 902 с.

FISH AND VEGETABLE SCHITZEL FOR FUNCTIONAL PURPOSE

I. Ditrikh, N. Ilchuck, P. Yefymovych

National University of Food Technologies

Key words:

Functional product

Pike perch

Broccoli cabbage

Fish schnitzel

Organoleptic parameters

Ascorbic acid

Sulforaphane

Aminoacrylic acid

Article history:

Received 05.11.2018

Received in revised form

30.11.2018

Accepted 19.12.2018

Corresponding author:

I. Ditrikh

E-mail:

npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The article analyzes the current state of nutrition of the population of Ukraine, there were made conclusions about the possible improvement of the situation through the creation of products from fish raw materials with the addition of vegetable fillers, which will be balanced by chemical composition, have improved organoleptic parameters, and are also recommended as a functional product in the diet of certain population groups.

In order to select the optimal raw material for the development of a new type of fish schnitzel according to literature sources, an analysis of the chemical composition of freshwater fish grown in Ukraine has been provided. The expediency of using pikeperch meat as an ingredient with dietary properties has been proved.

The comparative characterization of the chemical composition of cabbage vegetables (white cabbage, cauliflower, broccoli, and Savoy) is given, on the basis of which it is established that the broccoli cabbage has advantages over the intralic composition of other types of cabbage vegetables. The peculiarity of broccoli cabbage is the presence in its composition of a significant amount of sulforaphane, which, according to studies by American scientists, has anti-cancer properties.

A recipe for fish schnitzel from pike perch and broccoli of functional purpose with improved organoleptic properties and increased biological value was offered. Experimental studies have established the optimal ratio of the main ingredients (fillet of pike perch and broccoli cabbage) in the formulation of a new type of semifinished product. The scale of the organoleptic assessment of the quality of fish schnitzels from the file of pike perch and broccoli cabbage has been developed according to such indicators: appearance, color, consistency, smell and taste.

The content of ascorbic acid in samples of fish schnitzels subjected to various methods of heat treatment — roasting, baking, steaming was found. The calculation method found that the digestibility of a new type of semi-finished fish products by human body is 94.9%.

DOI: 10.24263/2225-2924-2018-24-6-25

РИБОООВОЧЕВІ ШНІЦЕЛІ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

І.В. Дітріх, Н.В. Ільчук, П.Є. Єфимович

Національний університет харчових технологій

У статті проаналізовано сучасний стан харчування населення України, зроблено висновки щодо можливого покращення ситуації за рахунок створення продуктів з рибної сировини з додаванням овочевих наповнювачів, що матимуть поліпшені органолептичні показники, збалансований хімічний склад, а також рекомендовані як функціональний продукт у харчуванні певних категорій населення.

З метою вибору оптимальної сировини для розробки рецептури нового виду рибних шніצלів за літературними джерелами надано аналіз хімічного складу прісноводних риб, що вирощуються в Україні. Доведена доцільність використання м'яса судака як інгредієнта, що має дієтичні властивості.

Надано порівняльну характеристику хімічного складу капустяних овочів (капуста білокачанна, цвітна, броколі, савойська), на основі якої встановлено, що капуста броколі має переваги за нутрієнтним складом перед іншими видами капустяних овочів. Особливістю капусти броколі є наявність в її складі значної кількості речовини сульфорафану, яка, за дослідженнями американських вчених, має антиракові властивості.

Запропоновано рецептуру рибоовочевих шніצלів з філе судака та капусти броколі функціонального призначення, що мають поліпшені органолептичні властивості та підвищену біологічну цінність. Експериментальними дослідженнями встановлено оптимальне співвідношення основних інгредієнтів (філе судака та капусти броколі) у рецептурі нового виду напівфабрикату. Розроблено бальну шкалу органолептичної оцінки якості рибних шніצלів з філе судака та капусти броколі за показниками: зовнішній вигляд, колір, консистенція, запах і смак.

Визначено вміст аскорбінової кислоти у зразках рибних шніצלів, підданих різним способам теплової обробки — смаження, запікання, приготування на пару.

Розрахунковим методом встановлено, що засвоюваність організмом людини нового виду рибних напівфабрикатів становить 94,9%.

Ключові слова: функціональний продукт, судак, капуста броколі, рибні шніцелі, органолептичні показники, аскорбінова кислота, сульфорафан, амінокислотний скор.

Постановка проблеми. Дослідження медиків і вчених, що проводилися протягом останніх років, підтвердили, що основною причиною серцево-судинних захворювань, ожиріння, цукрового діабету, онкологічних захворювань є неправильне харчування. Відсутність у раціоні необхідної кількості вітамінів, мінеральних речовин, незамінних амінокислот тощо спричиняє розвиток захворювань, затримує розвиток організму, знижує рівень функціональних можливостей організму [1].

Головним напрямом політики України у сфері здорового харчування стала розробка технології продуктів, які збалансовані за хімічним складом, тобто продуктів функціонального харчування, що запобігають різноманітним захворюванням, зміцнюють організм [2]. Шляхом розв'язання цього завдання може стати розробка рецептур та удосконалення технології виробництва фаршевих виробів із прісноводних риб з додаванням овочів. Це дає змогу виробляти харчові продукти, збагачені незамінними амінокислотами, мікроелементами, вітамінами і харчовими волокнами. Завдяки додаванню овочевих наповнювачів до складу таких продуктів покращується їхніх хімічний склад [3; 4].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для розширення асортименту якісної продукції вченими ведуться дослідження щодо застосування нетрадиційної сировини, створення й удосконалення науково обґрунтованих технологій повноцінних продуктів харчування. Виробництво рибних напівфабрикатів є одним із перспективних напрямів випуску продукції з оригінальними органолептичними властивостями та поліпшеним хімічним складом [5; 6]. Проблеми розроблення нових технологій і підходів до комплексного перероблення рибної сировини, розширенню напрямів їх використання в кулінарній продукції присвячено праці вітчизняних і зарубіжних вчених: Л.С. Абрамової, О.В. Сидоренко, Т.К. Лебської, В.М. Пасічного, Т.М. Сафронової, А. Nishimoto, S. Nishimoto, N. Ratoh [7—9].

Метою дослідження є розробка рецептурного складу нового виду рибних напівфабрикатів (рибних шніцелів) шляхом збагачення традиційної рецептури природним фізіологічно функціональним харчовим інгредієнтом рослинного походження, аналіз органолептичних показників якості, визначення амінокислотного скору.

Викладення основних результатів дослідження. Об'єктом досліджень є рибний напівфабрикат — шніцелі рибні на основі судака з додаванням капусти броколі.

Рибні шніцелі виготовляються з різноманітних видів морської та прісноводної риби. Прісноводна риба доступніша, ніж морська, адже може вирощуватися у водоймах України. З усіх видів риби судак характеризується невисоким вмістом жиру та значним вмістом білка, що свідчить про дієтичність його м'яса (рис. 1) [10].

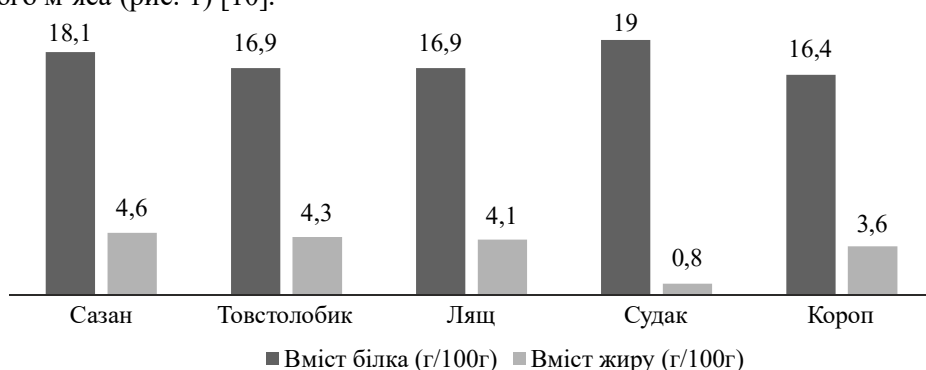


Рис. 1. Вміст білка та жиру в різних видах прісноводної риби [10]

Вміст незамінних амінокислот у білку судака не поступається їх вмісту в інших видах риб (табл. 1) [10].

Таблиця 1. Амінокислотний склад білка прісноводних риб (мг/1г білка) [10]

Назва амінокислоти	Види риби				
	Сазан	Товстолобик	Лящ	Судак	Короп
Валін	44,2	59,4	61,56	52,9	68,8
Ізолейцин	41,9	43,2	43,0	50,9	31,20
Лейцин	79,3	92,3	104,5	75,9	66,7
Лізин	87,3	91,0	106,8	87,9	71,7
Метіонін+цистин	20,3+21,1	18,1+16,4	14,0+15,1	22,4+21,1	19,8+18,9
Триптофан	15,0	9,5	6,4	10,0	15,0
Фенілаланін+тирозин	39,6+43,1	34,1+38,3	34,3+43,2	30,5+33,5	28,1+31,3
Треонін	47,6	61,5	41,06	42,9	35,0

З метою вибору фізіологічно функціонального природного інгредієнта для збагачення рибних шніцелів проведено порівняльну характеристику хімічного складу різних видів капусти [11;12].

Таблиця 2. Порівняльний хімічний склад різних видів капусти (на 100 г) [11; 12]

Харчові речовини	Білокачанна	Цвітна	Броколі	Савойська
Білки (г)	1,8	2,5	2,84	2
Жири(г)	0,1	0,3	0,37	0,1
Вуглеводи (в т. ч. харчові волокна) (г)	4,7 (2,2)	4,2 (2,1)	6,64 (2,6)	6,0 (0,5)
β-каротин (мг)	0,02	0,02	0,39	0,25
Вітамін В ₁ (мг)	0,03	0,1	0,07	0,04
Вітамін В ₂ (мг)	0,04	0,1	0,2	0,03
Вітамін В ₆ (мг)	0,1	0,2	0,2	0,2
Вітамін В ₉ (мг)	0,01	0,023	0,064	0,01
Калій (К) (мг)	300	210	316	230
Вітамін С (мг)	36,6	48,2	89,3	31
Кальцій (Са)(мг)	48	26	47	40
Магній (Mg) (мг)	16	17	21	14
Фосфор (Р) (мг)	31	51	66	34

Згідно з даними, наведеними у табл. 2, вміст основних нутрієнтів у капусті броколі перевищує їх вміст в інших видах капусти.

За вмістом незамінних амінокислот білок капусти броколі наближається до білка таких загальноповживаних продуктів харчування, як курячі яйця, яловичина, м'ясо курки та риба, а за вмістом ізолейцину, метіоніну та цистину не поступається їх білку (табл. 3) [11; 12].

Порівняно з іншими видами капустяних овочів, броколі містить значну кількість харчових волокон, β-каротину, вітаміну С, калію, магнію та фосфору (табл. 2) [12].

Таблиця 3. Порівняльна характеристика амінокислотного складу білків броколі та продуктів тваринного походження (мг/1г білка) [11; 12]

Амінокислота	Броколі	Куряче яйце	Яловичина	М'ясо курки	Риба
Валін	59,60	60,48	55,61	48,18	53,87
Ізолейцин	50,30	47,0	42,04	38,07	49,90
Лейцин	59,60	85,11	79,46	77,58	78,03
Лізин	64,32	71,10	85,43	87,25	85,04
Метіонін+цистин	62,22	56,45	37,8	38,17	43,54
Триптофан	13,65	16,06	11,29	16,09	11,25
Фенілаланін+тирозин	68,6	81,34	78,74	76,10	64,1
Треонін	41,3	48,03	43,17	48,62	40,98

Капустяні відносяться до родини хрестоцвітих овочів, до складу яких входить сульфорафан — речовина, що проявляє виражену протиракову та антибактеріальну активність. Попередником сульфорафану є глюкорафанін. Фермент мірозназа, що міститься у всіх овочах родини хрестоцвітих, трансформує глюкорафанін у сульфорафан. За експериментальними даними Міжнародного агентства ракових досліджень (International Agency for Research on Cancer, IARC) встановлено, що сульфорафан запобігає утворенню та розвитку ракових клітин [13; 14]. Найбільший вміст сульфорафану серед овочів родини хрестоцвітих — у капустяних (табл. 4) [13].

Таблиця 4. Вміст сульфорафану в овочах родини хрестоцвітих [13]

Продукт	Вміст сульфорафану (мг/100г)
Броколі	40—70
Цвітна капуста	20—28
Брюссельська капуста	15—20
Редис	10
Хрін	8
Руккола	10

Капуста броколі, окрім сульфорафану, містить такі протиракові речовини, як індол-3-карбін і синергін. Перша активізує здатність імунної системи протистояти утворенню ракових клітин, а друга запобігає розмноженню ракових клітин, що зупиняє їх поділ, а потім знищує повністю [15].

При розробці нового виду рибних шніцелів «Рибні шніцелі з капустою броколі» як контроль обрано шніцелі, виготовлені за традиційною рецептурою, що містять у своєму складі філе судака охолоджене, цибулю ріпчасту, петрушку (зелень), молоко, яйця, сухарі [16].

Для встановлення оптимальної кількості капусти броколі досліджені зразки шніцелів з різним вмістом капусти — 30%, 40%, 50% від маси риби. Проведено органолептичну оцінку готових виробів за розробленою бальною шкалою, на основі якої побудовано профілограму (табл. 5, рис. 2) [17].

Встановлено, що оптимальним є внесення у зразки рибних шніцелів капусти броколі у кількості 40% від маси риби (рис. 2).

Таблиця 5. Оцінка органолептичних властивостей шніцелів «Рибні шніцелі з капустою броколі» [17]

Найменування показника	Зразки			
	Контроль	Зразок № 1 (30% броколі)	Зразок № 2 (40% броколі)	Зразок № 3 (50% броколі)
Зовнішній вигляд	4,5	4,5	5	4,3
Колір	4,5	4,7	4,9	4,1
Консистенція	4,1	4,0	5,0	4,5
Запах	4,5	3,8	4,9	3,9
Смак	4,3	3,9	5,0	3,8

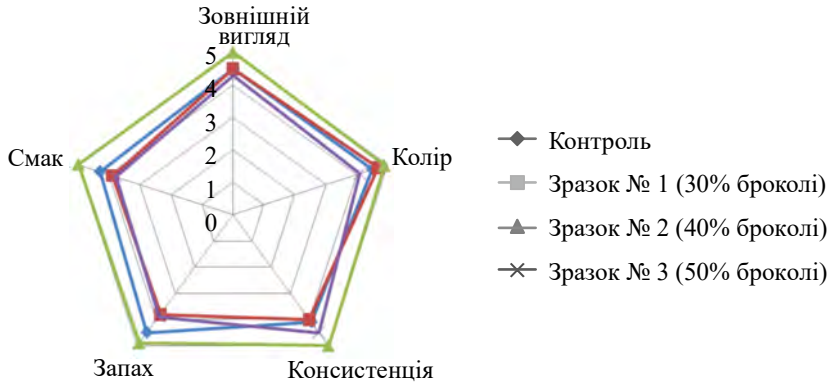


Рис. 2. Профілограма органолептичних властивостей шніцелів «Рибні шніцелі з капустою броколі»

Рецептурний склад рибних шніцелів наведено у табл. 6 [18]. Така рецептура страви дає змогу отримати гармонійні органолептичні показники якості.

Напівфабрикати рибних шніцелів з додаванням капусти броколі готують відповідно до технологічної схеми (рис. 3).

Таблиця 6. Рецепттура рибних шніцелів з капустою броколі [18]

Контроль		Рибні шніцелі з броколі (40% броколі від кількості судака)	
Судак охолоджений (філе)	66,5	Судак охолоджений (філе)	39,9
		Капуста броколі	26,1
		Гірчичний порошок	0,5
Цибуля ріпчаста	12,3	Цибуля ріпчаста	12,3
Петрушка (зелень)	2,6	Петрушка (зелень)	2,6
Молоко	6,1	Молоко	6,1
Яйця	3,2	Яйця	3,2
Сухарі	9,3	Сухарі	9,3

Особливістю технології приготування шніцелів «Рибні шніцелі з капустою броколі» є додавання до подрібненої капусти гірчичного порошку. Американські вчені проаналізували антиракові властивості броколі при вживанні її у комбінації з продуктами, багатими ферментом мірозіназою, наприклад, з гірчицею. Тому рекомендовано поєднувати броколі з гірчичним порошком [14].

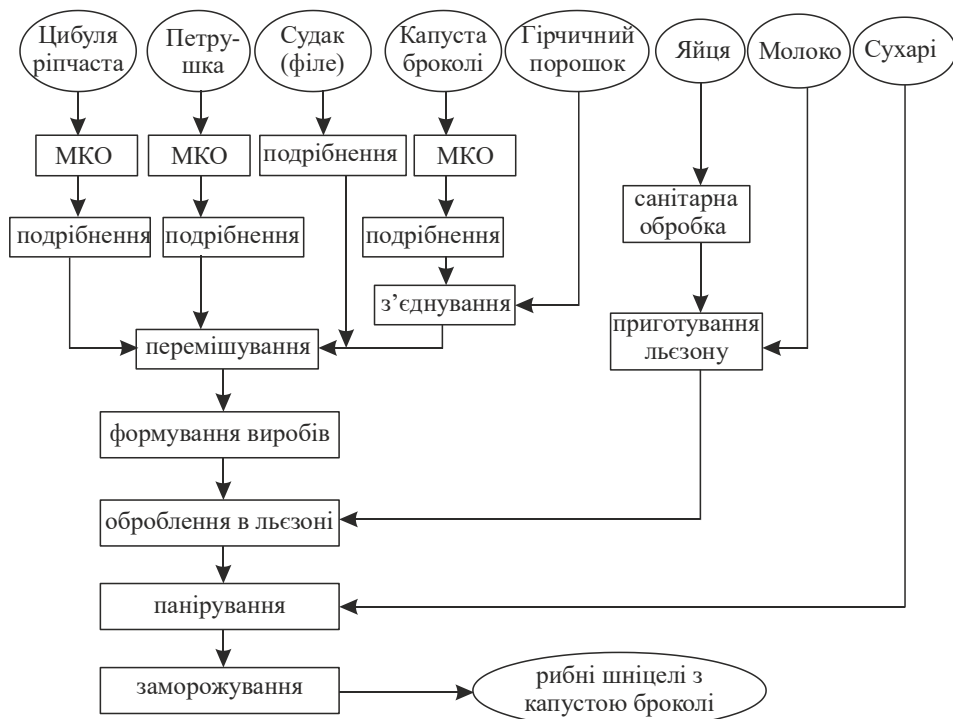


Рис. 3. Технологічна схема приготування шніцелів «Рибні шніцелі з капустою броколі»

До готовності рибні шніцелі доводили традиційними способами — запіканням, смаженням, приготуванням на пару.

Готові рибні шніцелі правильної форми, за кольором відповідають внесеним інгредієнтам, консистенція однорідна, соковита, запах і смак гармонійні, з приємним запахом і присмаком капусти броколі.

Для оцінки засвоюваності рибних шніцелів з броколі розраховано амінокислотний скор білка (табл. 7) [11; 12]. Вміст білка в 100 г шніцелів становить 10,47 г.

Таблиця 7. Амінокислотний скор білків шніцелів «Рибні шніцелі з капустою броколі» [11; 12]

Амінокислота	Вміст АК в ідеальному білку, мг/г (за даними ВООЗ)	Вміст АК у шніцелях		АС, %
		мг/100г	мг/1г білка	
Валін	50	499,7	47,72	95,4
Ізолейцин	40	470,7	44,95	112,3
Лейцин	70	696,01	66,47	94,9
Лізин	55	767,7	73,32	137,7
Метіонін+цистин	35	190+222,1	39,34	111,4
Триптофан	10	110,64	10,56	105,6
Фенілаланін+тирозин	60	325,5+310,1	60,65	101
Треонін	40	403,1	38,5	96,2

Першою лімітуючою амінокислотою є лейцин (АС становить 94,9%), таким чином білок рибних шніцелів з броколі засвоюється на 94,9%.

У зразках шніцелів «Рибні шніцелі з капустою броколі» визначено вміст аскорбінової кислоти за стандартною методикою. З'ясовано, що при готуванні на парі її вміст становить — 15,9 мг, при смаженні — 12,7 мг, запіканні — 12,5 мг. Отже, з метою збереження вітаміну С у готовому виробі рекомендовано готувати рибні шніцелі на пару.

Висновки

Розроблено рецептуру рибоовочевих шніцелів функціонального призначення «Рибні шніцелі з капустою броколі», що мають поліпшені органолептичні властивості та підвищену біологічну цінність. Встановлено оптимальне співвідношення інгредієнтів у новому продукті. За рахунок додавання сировини рослинного походження напівфабрикат збагачено харчовими волокнами, β -каротином, вітаміном С, калієм, магнієм та фосфором.

Розраховано амінокислотний скор рибних шніцелів. Для збереження вітаміну С у виробах рекомендовано доводити їх до готовності на парі.

Оскільки до складу рибних шніцелів з броколі входить сульфорафан — речовина, що має антиракові властивості, напівфабрикати можуть бути рекомендовані у харчуванні різних верств населення з метою профілактики онкологічних захворювань.

За результатами досліджень отримано патент України на корисну модель [18].

У подальшому буде проведено дослідження хімічного складу нового виду рибних шніцелів з філе судака і капусти броколі (вміст харчових волокон, β -каротину, калію, магнію, фосфору, сульфорафану).

Література

1. Мартинчик А.Н., Маев И.В., Петухов А.Б.. Питание человека (основы нутрициологии): навч. посібник. Москва: ГОУ ВУНМЦ МЗРФ, 2002. 572с.
2. Салій Н.С. Рациональное харчування в сучасних умовах. Київський міський центр здоров'я. 2003. С. 15. URL: <http://zdorov.com.ua/nutrition.html>. (дата звернення: 29.09.2018).
3. Маслова Г.В. Инновационные технологии переработки объектов водного промысла: дис. канд. техн. наук: 05.18.04. Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии. Москва, 2011. 275 с.
4. Шаззо Р.И. Современные аспекты совершенствования технологий комбинированных продуктов функционального назначения: дис. д-ра техн. наук: 05.18.04. Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. Кемерово, 2008. 321 с.
5. Абрамова Л.С. Поликомпонентные продукты питания на основе рыбного сырья: книги. Москва: ВНИРО, 2005. 175 с.
6. Будниченко В.А. Рыболовство и производство аквакультуры в Украине и перспективы их развития. Рибне господарство України. 2011. № 5. С. 56—61.
7. Сидоренко О.В. Формування асортименту та якості риборослинних продуктів: монографія. Київ: КНТЕУ, 2006. 322 с.
8. Мазаракі А.А., Лебська Т.К., Сидоренко О.В., Ніколаєнко С.М., Притульська Н.В. Інноваційні технології переробки риби: навч. посіб. Київ: КНТЕУ, 2014. 432 с.
9. Удосконалення технологій м'ясо-рибних напівфабрикатів / В.М. Пасічний, І.О. Степаненко, М.Ю. Мішук, М.Р. Макарчук, С.В. Вишнівченко, Ю.А. Ястреба. *Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва*. 2015. № 1. С. 116—120.

10. Мазаракі А.А., Пересічний М.І., Кравченко М.Ф. та ін. Технологія харчових продуктів функціонального призначення: монографія. Київ: КНТЕУ, 2012. 1116 с.
11. Скурихин И.М. Химический состав пищевых продуктов. Справочные таблицы содержания основных пищевых веществ и энергетической ценности пищевых продуктов: книга. Москва: Агропромиздат, 1987. 224 с.
12. Юдічева О.П. Товарознавство. Малопоширені овочі: навч. посіб. Київ: Ліра, 2017. 236 с.
13. Природа против рака. URL: <https://www.onkonature.ru> (дата звернення: 29.09.2018).
14. Антираковый потенциал брокколи можно усилить с помощью специй. URL: <https://www.epochtimes.ru/c/health/pravilnoe-pitanie> (дата звернення: 29.09.2018).
15. Владимирова І.М., Кисличенко В.С., Демьохін В.Б., Махотіна О.О. Фітохімічне вивчення листя капусти брокколі. Створення, виробництво, стандартизація, фармако-економічні дослідження лікарських засобів та біологічно активних добавок: матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Харків, 12—13 жовтня 2006 р. Харків, 2006 р. С. 42—43.
16. Сборник рецептур блюд и кулинарных изделий: Для предприятий общественного питания: учебник / за ред. Ф.Л. Марчука. Москва: Хлебпродинформ, 1996. 215 с.
17. Сафронова Т.М. Справочник дегустатора рыбы и рыбной продукции: навч. посіб. Москва: ВНИРО, 1998. 244 с.
18. Рибні шніцелі з капустою брокколі: пат. 125827 Україна: МПК A23L17/00. / І.В. Дітріх, Н.В. Ільчук. № u 2017 12692; заявл. 21.12.2017; опубл. 25.05.2018, Бюл. №10, 4 с.

DETERMINATION OF FERMENTATIVE YEAST ACTIVITY BY CARBON DIOXIDE BY MANOMETRY METHOD

V. Ridkous

National University of Food Technologies

Key words:

Fermentative yeast activity
Carbon dioxide
Manometry

Article history:

Received 08.11.2018
Received in revised form 29.11.2018
Accepted 11.12.2018

Corresponding author:

V. Ridkous
E-mail:
Ridkous@ukr.net

ABSTRACT

Efficiency and simplicity of measurements is an important task in determining the fermentative yeast activity by carbon dioxide by manometry method. Fermentative yeast activity is a capacity of yeast mass to ferment certain mass of sugar to ethanol and carbon dioxide in time unit and in certain temperature and pH. Determination of fermentative yeast activity by volume of lost carbon dioxide is widely used. It is implemented by means of laboratory equipment of different constructions — zymotachygraph. But all of them have a demerit — measuring is occurred on stage of yeast adapting to the fermentation ambient (lag phase), and results of fermentation dynamics are more comparative than real. In order to measure the fermentative yeast activity in conditions that are closer to production (with taking into account of extreme pressure) volume of lost carbon dioxide has been determined by means of manometry (in escalation of pressure from 0 till 1.0 bar) and by analytical calculations. To avoid different unconsidered factors measurements of lost carbon dioxide by pressure have been taken in parallel — in experiment and in reference samples. The paper presents trial of determining the lost carbon dioxide of fermented wort by means of manometry. The fermentation of model wort — saccharose solution — has been done by selected yeast. Determination of lost carbon dioxide amount on different steps of fermentation has been done by dynamics of pressure growth. It was converted into volume by analytical equations. Counted volume of lost carbon dioxide in system was compared to the volume that was measured in exhausting in atmosphere (from given level of pressure till 0) by means of standard method (“wet gasholder”). To divide meaning of pressure/volume of carbon dioxide to time the speed of pressure/volume accumulating for time unit — fermentative yeast activity — has been found. The possibility of using the manometry and analytical calculations for express method for determining the lost carbon dioxide in fermented wort has been proved. Results of manometry measuring in frame of experimental accuracy are correlated with results made by standard method (“wet gasholder”). Average deviations in finding the lost carbon dioxide by manometry method are mostly depend on accuracy of pressure measurement — 1.5 vol.% in this case.

DOI: 10.24263/2225-2924-2018-24-6-26

ВИЗНАЧЕННЯ БРОДИЛЬНОЇ АКТИВНОСТІ ДРІЖДЖІВ ЗА ВУГЛЕКИСЛИМ ГАЗОМ МАНОМЕТРИЧНИМ МЕТОДОМ

В.В. Рідкоус

Національний університет харчових технологій

Актуальним завданням при визначенні бродильної активності дріжджів за вуглекислим газом манометричним методом є оперативність і простота замірів. Бродильна активність дріжджів — це спроможність одиниці маси дріжджів за одиницю часу при заданій температурі і рН зброджувати певну масу цукрів до етилового спирту і вуглекислого газу. Широко розповсюджене визначення бродильної активності дріжджів за об'ємом виділеного вуглекислого газу здійснюється на різноманітних конструкціях лабораторних установок — зимографів. Але всі вони мають головний недолік — визначення відбувається на стадії пристосування дріжджів (лаг-фаза) до середовища бродіння, а результати мають більше порівняльний характер, ніж відображають реальну картину динаміки бродіння. Для визначення бродильної активності дріжджів, в умовах близьких до виробничих (з урахуванням дії надлишкового тиску), об'єм виділеного вуглекислого газу знаходили манометричним методом (при наростанні тиску від 0 до 1,0 бар) та аналітичними розрахунками. Для усунення різноманітних факторів, які неможливо врахувати, заміри виділеного вуглекислого газу за тиском проводили паралельно — в досліді і контролі.

У статті зроблена спроба визначення виділеного вуглекислого газу зброджуваного сусла манометричним методом. Проведено зброджування вибраними дріжджами модельного сусла — розчину цукрози. Визначення кількості виділеного вуглекислого газу на різних етапах бродіння здійснювали за динамікою наростання тиску, який за допомогою аналітичних рівнянь перераховували в об'єм. Розрахований об'єм виділеного вуглекислого газу в системі порівнювали з об'ємом, який заміряли при його відведенні в атмосферу (від заданого значення тиску до 0) стандартним методом — «методом мокрого газгольдера». Розділивши значення тиску чи об'єму вуглекислого газу на час, знаходили швидкість накопичення тиску чи об'єму за одиницю часу — бродильну активність дріжджів. На підставі проведених експериментів доведена можливість використання манометричного методу та аналітичних розрахунків для експрес-методу знаходження виділеного вуглекислого газу у зброджуваному суслі при визначенні бродильної активності дріжджів. Результати, одержані манометричним методом, в межах точності досліді узгоджуються із результатами, одержаними стандартним методом («методом мокрого газгольдера»). При знаходженні виділеного об'єму вуглекислого газу манометричним методом середні похибки головним чином залежать від точності вимірювань тиску і становлять 1,5%об.

Ключові слова: бродильна активність дріжджів, вуглекислий газ, манометричний метод.

Постановка проблеми. Дріжджі є основною сировиною в технології бродильних, хлібопекарних і кондитерських виробництв. Головним показником якості дріжджів є їх бродильна активність.

Бродильна активність дріжджів — це спроможність одиниці маси дріжджів за одиницю часу при заданій температурі і рН зброджувати певну масу цукрів до етилового спирту й вуглекислого газу. Різні цукри зброджуються з різною швидкістю. Перш за все зброджуються глюкоза і фруктоза. Повільніше зброджуються мальтоза і цукроза, які попередньо за допомогою ферментів дріжджів гідролізуються до простих цукрів. Залежно від цукру, який у лабораторних умовах використовується в зброджуваному суслі, розрізняють зимазну і мальтазну активність дріжджів.

Зимазна активність дріжджів — це швидкість зброджування дріжджами глюкози чи цукрози.

Мальтазна активність дріжджів — це швидкість зброджування дріжджами мальтози.

Бродильну активність дріжджів визначають такими методами:

- за зменшенням маси проби після бродіння за рахунок втрати вуглекислого газу, що є критерієм сили бродіння;
- за об'ємом виділеного вуглекислого газу;
- за кількістю накопиченого етилового спирту;
- за кількістю незбродженого екстракту (цукру), що залишився.

Широко розповсюджене визначення бродильної активності дріжджів за об'єму виділеного вуглекислого газу здійснюється на різноманітних конструкціях лабораторних установок — *зимографів*. Але всі вони мають головний недолік — визначення відбувається на стадії пристосування дріжджів (лаг-фаза) до середовища бродіння, а результати мають більше порівняльний характер, ніж відображають реальну картину динаміки бродіння.

Визначення бродильної активності дріжджів за замірами показників накопиченого етилового спирту і незбродженого дійсного екстракту при зброджуванні заданого суслу в лабораторних умовах дають більш-менш повну уяву про динаміку бродіння. Знаходження вищенаведених показників стандартними методами для відстежування динаміки бродіння громіздке, трудомістке і мало придатне навіть у лабораторних умовах. Використання аналітичного та рефрактометричного методів визначення етилового спирту і дійсного екстракту для оперативного відстежування динаміки бродіння в лабораторних умовах усуває цю проблему [1].

Зброджування квасного чи пивного суслу на виробництві здійснюється під надлишковим тиском не більше 0,7 бар. Також кожен метр висоти шару суслу створює на дріжджову клітину гідростатичний тиск близько 0,1 бар. То ж при надлишковому тиску вуглекислого газу в апараті 0,7 бар і висоті шару суслу в апараті 10 м, дріжджова клітина, що знаходиться на дні апарата, піддаватиметься тиску в 1,7 бар. Тому всі вище наведені лабораторні методи визначення бродильної активності дріжджів, не можуть дати повної і точної уяви про інтенсивність процесу бродіння в промислових умовах, внаслідок значного впливу надлишкового тиску на життєдіяльність дріжджових клітин і, відповідно, на значення їх бродильної активності.

Для визначення бродильної активності дріжджів, з урахуванням дії надлишкового тиску, запропоновано використовувати знаходження виділеного вуглекислого газу манометричним методом при наростанні тиску від 0 до 1,0 бар.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для всіх продуктів бродіння, таких як модельні суміші (для визначення бродильної активності дріжджів за динамікою бродіння), квас, пиво, вино, чи спиртова бражка, попередником є сусло. Сусло складається з води і розчинних сухих речовин, які називаються екстрактом. Менша частина екстракту дріжджами не зброджується, залишаючись у суслі в незмінному вигляді. Більша частина екстракту, що являє собою прості цукри (глюкозу, фруктозу), дисахариди (мальтозу, цукрозу, або трисахарид мальтотріозу), зброджується дріжджами до етилового спирту і вуглекислого газу. Виділення вуглекислого газу із сусла відбувається еквівалентно накопиченому в суслі етиловому спирту і збродженим цукрам.

Відомий газометричний спосіб визначення бродильної активності хлібопекарських дріжджів [2].

Спосіб включає такі операції: підготовку насиченого розчину хлориду натрію, підфарбованого метиленовим синім, який заливають в манометричну кришку з вимірювальною трубкою приладу. До дріжджової суспензії, вміщеної в стаканчику приладу, додають 10 см³ 10% розчину цукру (глюкози або мальтози), потім стаканчик закривають манометричною кришкою і ставлять в термостат при температурі 35°C. Далі починають відлік часу і спостерігають за приладом, поки не виділиться 10 см³ вуглекислого газу і розчин у вимірювальній трубці не підніметься на відповідну висоту. Запропонований спосіб здійснюється за допомогою газоміру Єлеського.

Недоліками способу є необхідність приготування розчину хлориду натрію, підфарбованого метиленовим синім і неточність результату.

Відомий також спосіб визначення мальтазної активності пресованих дріжджів (метод ВНДХПа) [3].

Спосіб також передбачає приготування насиченого розчину хлориду натрію, яким заповнюють чашковий манометр з градуйованою трубкою. Потім в чашечці приладу відважують дріжджі і розводять їх 10 см³ водопровідної води, підігрітої до 30°C, сюди ж додають 10 см³ 10 % розчину мальтози, підігрітого до 35°C. Чашечку приладу закривають кришкою з манометром і ставлять в термостат з температурою 30°C.

Мальтазну активність відзначають за часом, коли рідина в градуйованій трубці підніметься на 10 см³ понад початкову позначку. Недоліками способу є необхідність приготування розчину хлориду натрію і наявність приладу виробничого виготовлення, а також неточність отриманих результатів.

Відомий спосіб визначення бродильної активності пивних дріжджів, розроблений в Чехії Калером [4]. Спосіб полягає в тому, що готують 20% розчин хлориду натрію, підкислений ортофосфорною кислотою до рН 1 і заповнюють бюретку. У колбу поміщають 0,7 г пивних дріжджів і 30 см³ розчину мальтози, приготованого на 0,2% розчині КН₂РО₄. Бродіння ведуть протягом 3 годин при температурі 20°C, відзначаючи кожну годину рівень рідини в бюретці.

Недоліками способу є необхідність приготування допоміжного розчину і неточність результатів.

Для підвищення точності вимірювань, дослідження різних газоутворюючих середовищ існує пристрій, що складається з бродильної посудини (колби) будь-якого об'єму, газовідвідної трубки, краника з рухливою частиною, гумової пробки і чутливого манометра [5].

Перед початком роботи вимірюють об'єм колби до нижнього краю ретельно притертої гумової пробки та об'єм газовідвідної трубки, що проходить через пробку. Отриману величину приймають за «постійну».

У колбу поміщають реагуючу суміш, що складається із суспензії дріжджів (квасних, пивних, винних, спиртових, хлібопекарних тощо) та розчину цукру (мальтози або глюкози), герметично закривають пробкою і з'єднують з манометром через газовідвідну трубку з краном. Для вирівнювання тиску в колбі з атмосферним тиском витягують рухому частину крану і відразу ж повертають на місце, обережно притираючи і суміщуючи отвори.

Підготовлений таким чином прилад розміщують у термостаті при температурі 20—35°C залежно від мети дослідження. Далі спостерігають і фіксують час, за який стрілка манометра досягає позначки, що відповідає необхідній кількості виділеного вуглекислого газу.

Величину тиску, що створюється вуглекислим газом у визначеному раніше об'ємі колби, визначають за формулою, виведеною з рівняння Клапейрона-Менделєєва:

$$P_x = \frac{m \cdot R \cdot T_x}{V_x \cdot M}, \quad (1)$$

де m — маса вуглекислого газу (для об'єму, що виділяється у приладі), г; R — універсальна газова постійна, $62360 \frac{\text{ммHg} \cdot \text{см}^3}{\text{моль} \cdot \text{K}}$; T_x — температура інкубації, K; V_x — вільний об'єм газового простору приладу, см^3 ; M — молекулярна маса вуглекислого газу, 44,010 г.

Спосіб дає змогу точно фіксувати необхідну кількість виділеного вуглекислого газу за допомогою пристрою, який можна зібрати в будь-якій лабораторії. Підвищення точності вимірювань пов'язане, з одного боку, з технічними характеристиками манометра, оскільки похибка 4 мм Hg для мембранного манометра більш пріоритетна, ніж 1 см^3 вимірювальної трубки, що відповідає приблизно 6 мм Hg. Градування у всіх попередніх запропонованих методах відбувається з точністю до 1 см^3 . З іншого боку, розрахунок маси 10 см^3 вуглекислого газу за допомогою рівняння Клапейрона-Менделєєва виключає вплив умов експерименту (температура і атмосферний тиск) на його результат.

Приклад 1. У колбу вносили 0,5 г пресованих хлібопекарних дріжджів для визначення бродильної активності, заливали 10 см^3 водопровідної води температурою 35°C. Потім додавали 10 см^3 10 % розчину глюкози (мальтози) і закривали колбу гумовою пробкою з газовідвідною трубкою, з'єднаною з манометром. Прилад поміщали в термостат при 35°C та реєстрували час, протягом якого стрілка манометра досягає необхідної позначки, що відповідає 10 см^3 виділеного вуглекислого газу.

Величину тиску визначали з рівняння Клапейрона-Менделєєва:

$$P_x = \frac{0,016 \cdot 62360 \cdot 308}{104 \cdot 44,010} = 67,15 \text{ мм Нг}, \quad (2)$$

де $m = 0,016$ г; $T_x = 308$ К; $V_x = 104$ см³.

Значення V_x вираховували відніманням від загального об'єму колби і газовідвідної трубки (124,5 см³) об'єму дріжджової суспензії (20,5 см³).

Тож час, затрачений на виділення 10 см³ CO₂, або зимазна (мальтазна) активність, склав 45 хвилин (70 хвилин), що свідчить про хорошу якість дріжджів.

Для визначення бродильної активності хлібопекарних дріжджів дотримуються умови, прийнятої в галузі: кількість пресованих дріжджів — 0,5 г; кількість субстрату — 10 см³ 10% розчину цукру (глюкоза, мальтоза); кількість водопровідної води — 10 см³; температура інкубації 35°C (308 К); необхідна кількість виділеного вуглекислого газу в приладі — 10 см³. Цим умовам відповідає прийнята в галузі градація бродильної активності:

- хороша зимазна (мальтазна) — 30—40 хв (50—90 хв);
- задовільна зимазна (мальтазна) — 40—70 хв (90—100 хв);
- незадовільна зимазна (мальтазна) — більше 70 хв (більше 100 хв).

Приклад 2. Заміраний об'єм системи склав 331 см³. У колбу вносили 0,7 г відпресованих на лійці пивних дріжджів 129 раси для визначення бродильної активності, 30 см³ 10% розчину мальтози, приготовлені на 0,2% розчині KН₂РO₄ і розбавлені до одержання однородної суспензії. Колбу ретельно закривали і через газовідвідну трубку з'єднували з манометром. Прилад поміщали в термостат при 20°C та реєстрували час, протягом якого стрілка манометра досягає розрахункового значення тиску, що відповідає 25 см³ виділеного вуглекислого газу. Величина тиску склала 65 мм Нг.

Отже, бродильна активність 129 раси дріжджів склала 172 хвилини, що свідчить про хорошу бродильну активність дріжджів.

Для визначення бродильної активності пивних дріжджів дотримуються умови, прийнятої в галузі: кількість відпресованих на лійці дріжджів — 0,7 г; кількість субстрату — 30 см³ 10% мальтози на 0,2% розчині KН₂РO₄, температура інкубації — 20°C (293 К), бродіння ведуть протягом 3 годин. Цим умовам відповідає прийнята в галузі градація бродильної активності: за 3 години хороші дріжджі виділяють 25—28 см³ CO₂.

Використання цього способу дає змогу зменшити витрати реактивів, мати достатньо точну інформацію про якість дріжджів, що використовуються, а також визначати газоутворюючу здатність борошна та напівфабрикатів (закваски, опари тощо), розширюючи таким чином діапазон технологічних показників, що визначаються на цьому приладі.

Усі наведені вище методи знаходження величини бродильної активності дріжджів ґрунтуються на тому принципі, що визначення відбувається у відповідним чином підготовлених зразках дріжджів (як товарному продукті, що має певні якісні показники) на модельних зразках сусла (глюкози чи мальтози) на стадії пристосування дріжджів (лаг-фаза) до зброджування сусла.

Дуже часто в лабораторній практиці є необхідність визначення бродильної активності дріжджів в умовах, близьких до виробничих. Також буває необхідно оперативно заміряти значення цієї величини стосовно контролю, що дає можливість усунути вплив різних факторів, які неможливо врахувати. При цьому на величину бродильної активності дріжджів (у динаміці життєдіяльності дріжджів, після внесення в сусло визначеної кількості дріжджів), будуть мати вплив:

- кількість дріжджових клітин в одиниці об'єму;
- стан дріжджових клітин;
- стадія розвитку дріжджових клітин;
- склад сусла;
- температура сусла;
- тиск, при якому проходить зброджування сусла.

Мета дослідження: визначення бродильної активності дріжджів при зброджуванні модельного сусла в умовах близьких до виробничих за кількістю виділеного вуглекислого газу. Цей параметр вимірюється з високою точністю манометричним методом і є короткочасним, що дає можливість проводити експрес-аналізи.

Матеріали і методи. Для досліджень використовували цукор білий за ДСТУ 4623, воду дистильовану за ГОСТ 6709, дріжджі хлібопекарські пресовані за ДСТУ 4812 чи дріжджі сухі інстантні (високоактивні).

Для визначення бродильної активності дріжджів за кількістю виділеного вуглекислого газу манометричним методом, при зброджуванні ними модельного сусла в умовах близьких до виробничих, пропонується пристрій, що складається з двох бродильних циліндрів (посудин), з герметичними кришками, газовідвідними трубками, кранами (сполучення з атмосферою чи манометрами) і подвійним манометром.

Перед початком роботи вимірювали об'єм циліндрів з газовідвідними трубками. Отриману величину приймали за «постійну». В конкретному випадку «постійна» становить 490 см³.

Для експериментальної оцінки методу готували сусло з 10% мас. концентрацією цукрози. До сусла додавали дріжджі в кількості 1,0% мас. за сухими речовинами (СР). Сусло зброджували періодичним способом при температурі 30°C. Об'єм зброджуваного сусла може коливатися від 100 см³ до 400 см³. Визначення кількості виділеного вуглекислого газу на різних етапах бродіння здійснювали за динамікою наростання тиску в контролі і досліді, який за допомогою аналітичних рівнянь перераховували в об'єм. Розрахований об'єм виділеного вуглекислого газу в системі порівнювали з об'ємом, який заміряли при його відведенні в атмосферу (від заданого значення тиску до 0) за допомогою «методу мокрого газгольдера».

Вуглекислий газ за допомогою трубки спрямовували в перевернутий градуйований циліндр, заповнений підфарбованим метиленовим синім, насиченим розчином хлориду натрію, при цьому край циліндра знаходився під шаром аналогічної рідини в посудині.

Для врівноваження тиску вуглекислого газу всередині циліндра з атмосферним переміщали циліндр до однакових рівнів рідини всередині циліндра і ззовні його (в посудині). Після цього проводили відлік об'єму вуглекислого газу.

Щоб уникнути впливу об'єму вуглекислого газу, що виділяється за час проведення вимірювань, для цього етапу бродіння заміряли час набору тиску від 0 до заданого значення. Відведення накопиченого вуглекислого газу з приладу в циліндр розпочинали раніше, а відлік значення виділеного об'єму вуглекислого газу здійснювали точно в попередньо визначений час набору заданого значення тиску.

Розділивши значення тиску чи об'єму вуглекислого газу на час, знаходили швидкість накопичення тиску чи об'єму за одиницю часу — бродильну активність дріжджів.

Результати і обговорення. Об'єм циліндрів з газовідвідними трубками («постійна») становить 490 см³. Об'єм зброджуваного сусла брали 200 см³, а заданий надлишковий тиск — 1 кгс/см² = 98066,5 Па.

Перерахунок тиску в об'єм при нормальних умовах (температура 0°C, тиск 101325 Па), який створює виділений вуглекислий газ, визначали за формулою:

$$V_0 = \frac{273,15 \cdot (490 - v_t) \cdot (P_t + B - p_t)}{101325 \cdot (273,15 + t)} + \frac{\alpha \cdot v_t \cdot (P_t + B - 101325)}{101325}, \quad (3)$$

де V_0 — об'єм виділеного вуглекислого газу, приведений до нормальних умов, см³; v_t — об'єм зброджуваного сусла при заданій температурі, см³ ($v_t = 200$ см³); P_t — надлишковий тиск в бродильних циліндрах при заданій температурі, Па ($P_t = 98066,5$ Па); B — барометричний тиск під час проведення досліду, Па ($B = 100000$ Па); p_t — тиск насиченої водяної пари при заданій температурі, Па ($p_t = 4242$ Па); t — задана температура, °C ($t = 30^\circ\text{C}$); α — коефіцієнт абсорбції вуглекислого газу в воді при заданій температурі, ($\alpha = 0,665$).

Впливом вмісту цукру і етилового спирту в зброджуваному суслі на коефіцієнт абсорбції вуглекислого газу α нехтували.

$$V_0 = \frac{273,15 \cdot (490 - 200) \cdot (98066,5 + 100000 - 4242)}{101325 \cdot (273,15 + 30)} + \frac{0,665 \cdot 200 \cdot (98066,5 + 100000 - 101325)}{101325} = 626,8 \text{ см}^3. \quad (4)$$



Рис. Лабораторна установка для визначення бродильної активності дріжджів манометричним методом

У подальшому, за допомогою «методу мокрого газгольдера», заміряли об'єм вуглекислого газу при його відведенні в атмосферу (від заданого значення тиску до 0) і порівнювали з розрахунками. Дані експерименту в паралельних дослідах для двох різних бродильних циліндрів («Дослід» і «Контроль») наведені в таблиці. Лабораторна установка приведена на рисунку.

При знаходженні виділеного об'єму вуглекислого газу манометричним методом середні похибки головним чином залежать від точності вимірювань тиску і становлять в даному випадку 1,5%об.

Таблиця. Залежність значень розрахованих і заміряних об'ємів виділеного вуглекислого газу від тиску, накопиченого в лабораторній установці

Назва бродильного циліндра	Тиск у приладі, кгс/см ²	Визначення вуглекислого газу		Приведена похибка, %
		аналітичним методом за тиском, см ³	методом «мокрого газгольдера», см ³	
«Дослід»	0,2	125	120	0,80
	0,4	251	247	0,64
	0,6	376	370	0,96
	0,8	501	497	0,64
	1,0	627	620	1,12
«Контроль»	0,2	125	122	0,48
	0,4	251	245	0,96
	0,6	376	373	0,48
	0,8	501	495	0,96
	1,0	627	622	0,80

Висновки

На підставі проведених експериментів доведена можливість використання манометричного методу та аналітичних розрахунків для експрес-методу знаходження виділеного вуглекислого газу у зброджуваному суслі при визначенні бродильної активності дріжджів. Результати, одержані манометричним методом, в межах точності досліду узгоджуються з результатами, одержаними стандартним методом — «методом мокрого газгольдера». Короткочасність, доступна апаратура і нескладна методика вимірювань дають можливість широко використовувати метод у лабораторній практиці.

Література

1. Рідкоус В.В. Визначення бродильної активності дріжджів по спирту і екстракту рефрактометричним методом. Наукові праці Національного університету харчових технологій. 2018. Т. 24, № 4. С. 178—184.
2. Справочник по производству хлебопекарных дрожжей / Под ред. С.С. Новаковской, Ю.И. Шишацкого. Изд. 2-е, перераб. и доп. Москва : Пищевая промышленность, 1980. С. 217—218.
3. Технология и технoхимический контроль хлебопeкаpного производства. / Под ред. Л.Ф. Зверевой, З.С. Немцовой, Н.П. Волковой. Изд. 3-е. Москва: Легкая и пищевая промышленность, 1983. С. 364.
4. Микробиология в пищевой промышленности / Под ред. А.Ю. Жвирблянской, О.А. Бакушинской. Москва: Пищевая пром-сть, 1975. С. 364—365.
5. Способ оценки ферментативной активности дрожжей : пат. Российской Федерации № 2229126 ; заявл. 07.05.2001 ; опубл. 20.05.2004. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2229126> (дата звернення: 14.10.2018).

INVESTIGATION OF WHEAT SOURDOUGH PREPARATION WITH USING OF STARTER LV1 FOR INCREASING OF SWEET DOUGH QUALITY

V. Yurchak, T. Noshchenko

National University of Food Technologies

S. Palyvoda, T. Golikova

LLC "Lesaffre Ukraine"

Key words:

Wheat sourdough

Lactic acid bacteria

Starters

Quality indexes

Technological parameters

Article history:

Received 16.11.2018

Received in revised form

03.12.2018

Accepted 21.12.2018

Corresponding author:

V. Yurchak

E-mail:

npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The paper presents analyses of wheat sourdough using for producing of different bread types. It was shown that wheat sourdough may be used for increasing of taste and flavor of bread, preventing hardening of bread and for anti-mould effect as well as for intensification of technological process. Effect of sourdough on the bread quality is caused by microbiota content and parameters of technological process. Using sourdough is linked to the difficult process of its inoculation. Dry sourdough — dry lactobacterin, starters are perspective for using in baking technology.

Lesaffre is a company of baking ingredients — developed dry sourdough of starters LV1, LV2, LV4 that contain homo- and heterofermentative lactic acid bacteria and yeast *Saccharomyces Chevalieri*. Company recommends using these starters for sweet dough and yeast-free bread. Features of using depends on the goal.

The impact of parameters of sourdough preparation by starter LV1 — moisture, fermentation temperature — to the acidity, rising power and fermentation time has been investigated. It has been shown the acidity and rising power of stiff sourdough are higher compared to liquid sourdough. The abundance of higher temperature of sourdough — 28°C support to faster achievement of the required sourdoughs acidity and allows to reduce the process of their fermentation.

It has been proved that in the case of using liquid wheat sourdough based on the starter LV1 as an acidifier it is rational to use the sourdough in the amount of 50% to the mass of flour in the dough. In the case of using the sourdough based on the starter LV1 as a rising agent it is expedient to use a stiff sourdough in the amount containing 20% of flour and add 0.2% of compressed yeast to the final dough.

Effect of recipe components on the quality of sourdough has been investigated. Comparative estimation of products' quality made by different ways has been given. Sourdough increases volume of bread, content of aromatic components and crumb structure as well as shelf life of bread.

DOI: 10.24263/2225-2924-2018-24-6-27

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПРИГОТУВАННЯ ПШЕНИЧНИХ ЗАКВАСОК З ВИКОРИСТАННЯМ СТАРТОВОЇ КУЛЬТУРИ LV1 ДЛЯ ПОЛІПШЕННЯ ЯКОСТІ ХЛІБА І ЗДОБНИХ ВИРОБІВ

В.Г. Юрчак, Т.І. Нощенко

Національний університет харчових технологій

С.Д. Паливода, Т.П. Голікова

ТОВ «Лесаффе Україна»

У статті проаналізовано використання пшеничних заквасок для виготовлення різних сортів хліба. Показано, що пшеничні закваски можуть використовуватись для поліпшення смакових властивостей хліба, запобігання його черствінню та мікробіологічному псуванню, інтенсифікації технологічних процесів. Використання заквасок пов'язане зі складним процесом їх розведення. Перспективним є використання сухих препаратів заквасок — сухого лактобактерину, сухих заквасок, що містять так звані стартові культури мікроорганізмів.

*Компанія Lesaffre розробила ряд стартових культур LV1, LV2, LV4, що містять гомоферментативні та гетероферментативні молочнокислі бактерії і дріжджі підвиду *Saccharomyces Chevalieri*. Компанія рекомендує використання цих заквасок для виготовлення хліба та здобних виробів і позиціонує ці вироби як бездріжджові. Особливості приготування цих заквасок залежать від мети застосування.*

У статті досліджено вплив параметрів приготування закваски на основі стартової культури LV1 — вологості, температури — на кислотність, підйомну силу й тривалість бродіння заквасок. Показано, що кислотність і підйомна сила густих заквасок є вищими порівняно з рідкими заквасками. Дотримання вищої температури заквасок — 28°C сприяє швидшому досягненню необхідної кислотності заквасок та дає змогу скоротити процес їх бродіння.

Доведено, що в разі використання рідкої пшеничної закваски на стартовій культурі LV1 як підкислювача раціонально вносити закваску при приготуванні тіста в кількості 50% до маси борошна в тісті. При використанні закваски на стартовій культурі LV1 як розпушувача для приготування хліба доцільно використовувати густу закваску в кількості, що містить 20% борошна, та вносити в тісто 0,2% до маси борошна пресованих дріжджів.

Визначено вплив рецептурних компонентів на показники якості заквасок. Дано порівняльну оцінку якості виробів, виготовлених різними способами, та встановлено, що у разі приготування виробів із застосуванням заквасок поліпшується об'єм виробів, зростає вміст ароматизуючих речовин, покращується стан м'якушки та збереження свіжості хліба.

Ключові слова: пшеничні закваски, молочнокислі бактерії, стартові культури, показники якості, технологічні параметри.

Постановка проблеми. Нині у хлібопекарській галузі для виробництва пшеничних хлібобулочних виробів часто застосовують прискорені безопарні способи приготування тіста. Це призводить до зниження смакових властивостей виробів, швидшого їх черствіння і навіть до мікробіологічного псування.

Одним із способів поліпшення якості пшеничних хлібобулочних виробів є використання пшеничних заквасок — мезофільних молочнокислих заквасок (ММКЗ), концентрованих молочнокислих заквасок (КМКЗ), а також різних заквасок зі спрямованим культивуванням мікроорганізмів: пропіоновокислих, ацидофільних, комплексних, вітамінних, ергостеринових пшеничних заквасок тощо [1; 2]. Найбільшого поширення в промисловості набули ММКЗ та КМКЗ. Ці закваски використовують при опарних способах приготування тіста для запобігання захворюванням хліба картопляною хворобою та у разі приготування тіста прискореними способами для підвищення кислотності хліба і поліпшення смакової якості.

Цикл розведення цих заквасок здійснюють із використанням чистих культур бактерій або з використанням сухого лактобактерину. Використання чистих культур для розведення заквасок є трудомісткою і складною процедурою [4]. Сухий лактобактерин для пшеничних заквасок був розроблений Санкт-Петербурзьким відділенням ДержНДІХП Росії спільно з підприємством з виробництва бактеріальних препаратів [1; 3]. Застосування сухого лактобактерину в хлібопекарській промисловості має ряд переваг: значно скорочується цикл розведення заквасок, немає необхідності у складному мікробіологічному обладнанні, у приготуванні стерильних поживних середовищ, сухі препарати чистих культур можуть довго зберігатись. Проте існує досить обмежений спектр таких препаратів.

Водночас на ринку України з'явилися препарати стартових культур для заквасок з країн ЄС, призначені для виробництва пшеничного хліба, що містять нові штами молочнокислих бактерій (МКБ) та дріжджів і відкривають можливість поліпшення якості пшеничних хлібобулочних виробів в нашій країні [5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Представництво французької компанії Lesaffre TOB «Лесафр Україна» пропонує стартову культуру для приготування заквасок LV1, яка містять молочнокислі гомоферментативні бактерії *Lactobacillus casei* та гетероферментативні бактерії *Lactobacillus brevis* і дріжджі виду *Saccharomyces cerevisiae* підвиду *Saccharomyces Chevalieri* [5]. Отже, ці закваски, на відміну від ММКЗ та КМКЗ, містять дріжджі, тому є дріжджовими заквасками, які можуть не тільки підкислювати тісто, але й розпушувати його.

Молочнокисле бродіння відіграє важливу роль у формуванні смаку й аромату хліба. Гомоферментативні МКБ під час зброджування гексоз утворюють молочну кислоту й ароматичні речовини; гетероферментативні, крім молочної, утворюють оцтову кислоту, спирт, невелику кількість діоксиду вуглецю та інші продукти [6; 7]. Молочна кислота надає хлібу виражений аромат закваски, оцтова кислота є посилювачем кислого смаку та робить його дещо різким. На співвідношення молочної оцтової кислот у напівфабрикатах впливає ряд факторів: сорт борошна, вологість напівфабрикату, його температура. Наприклад, за температури 30°C утворюється більше молочної кислоти, а за

температури нижче 25°C — більше оцтової. Зі збільшенням вологості напівфабрикатів зростає активність гомоферментативних бактерій і посилюється накопичення молочної кислоти [8; 9]. Внаслідок бродіння закваски на основі стартової культури LV1 відбувається накопичення молочної та оцтової кислот у співвідношенні 11:1, завдяки чому вироби набувають ніжного молочно-кислого аромату.

Особливе значення надається штаму дріжджів, які містяться у цих заквасках. Вони є мальтозоіндиферентними, тобто не містять мальтази і не зброджують мальтозу. Отже, вони можуть зброджувати власні цукри борошна, вміст яких невисокий, або внесений у тісто цукор [10]. Ці дріжджі беруть участь не тільки в розпушенні тіста, але й у формуванні смаку хліба та мають високу компліментарність з використовуваними бактеріями.

Компанія Lesaffre рекомендує використання заквасок на основі стартової культури LV1 для виробів класу «Преміум» — «Пен о левен», виробів здобних «Бріюш», «Панеттон» тощо. Для здобних виробів рекомендується використовувати ці закваски з додаванням або без додавання пресованих дріжджів (залежно від рецептури), а для хліба — з внесенням невеликої кількості пресованих дріжджів. Тому компанія позиціонує ці вироби як бездріжджові [5].

В інструкціях щодо використання цих заквасок наводяться технологічні параметри для приготування різних сортів хлібобулочних виробів з їх застосуванням.

Водночас для ефективного управління технологічними процесами технологу важливо знати закономірності зміни показників якості напівфабрикатів за впливу різних технологічних факторів на перебіг процесів приготування, та показники якості готових виробів, виготовлених за різними технологіями із застосуванням цих заквасок. Для встановлення параметрів поновлення заквасок, призначених для виготовлення різного асортименту виробів, необхідно встановити вплив кількості взятої на поновлення закваски на показники якості напівфабрикатів і тривалість бродіння закваски.

Мета дослідження: вивчення закономірностей зміни основних показників якості й готовності заквасок від технологічних факторів та обґрунтування раціональних параметрів їх приготування для різного асортименту виробів.

Викладення основних результатів дослідження. Вивчали вплив температури, вологості заквасок на кінетику їх кислотності, підйомної сили та газоутворення в тісті при приготуванні хліба та здобних виробів. Досліджували кінетику кислотнонакопичення та зміну підйомної сили заквасок з вологістю 50% та 65% за температури 22°C та 28°C впродовж 24 год бродіння. Встановлено (рис. 1), що за температури бродіння 28°C густа закваска за 24 год досягає вищої кислотності, ніж рідка, і становить, відповідно, 10 град. і 8 град. Проте протягом перших 6 год бродіння кислотність заквасок майже не змінювалась і становила 2 град., протягом наступних 6—7 год зростала на 1 град., і лише після 14 год бродіння наростання кислотності відбувалось швидше — приблизно на 0,5—0,6 град. щогодини, причому кислотність густої закваски була вищою і через 20 год бродіння кислотність становила 8 град. і 6 град. для густої і рідкої закваски відповідно, а через 24 год — 10 та 8 град.

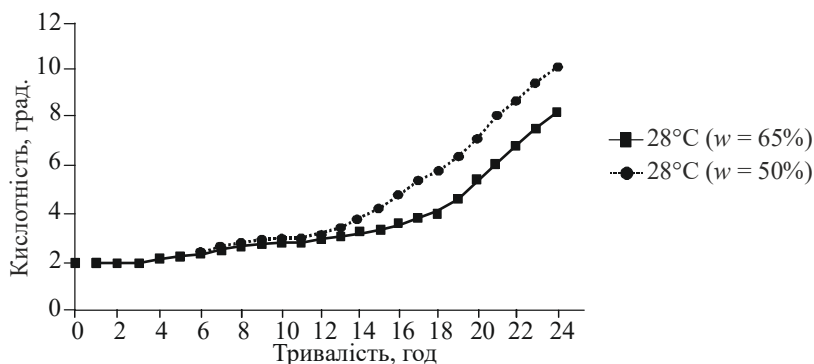


Рис. 1. Залежність зміни кислотності заквасок на стартових культурах LV1 з вологістю 50% та 65% за температури 28°C

Залежність кислотонакопичення в процесі бродіння густої і рідкої закваски за температури 22°C показано на рис. 2. Як видно з наведених даних, протягом 9 год бродіння кислотність заквасок практично не змінювалась і становила 2—2,2 град., протягом наступних 9 год зростала на 1 град., а після 18 год культивування кислотність суттєво зростала як для густої, так і для рідкої закваски і становила в кінці бродіння через 24 год 5 град. і 4,5 град. для густої та рідкої закваски відповідно.

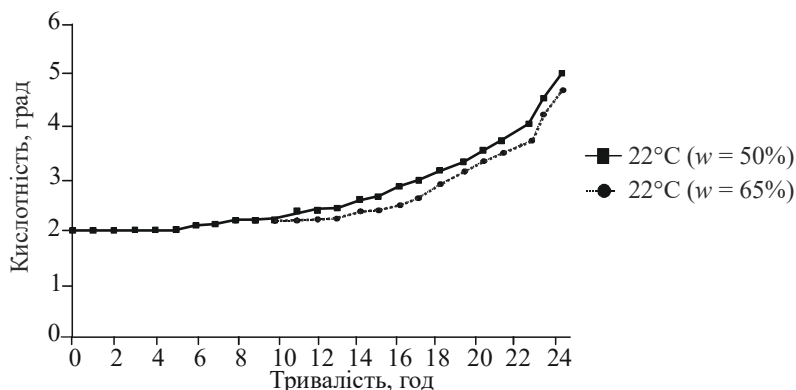


Рис. 2. Залежність зміни кислотності заквасок на стартових культурах LV1 з вологістю 50% та 65% за температури 22°C

Тож можна зробити висновок, що температура закваски суттєво впливає на її кислотність в кінці бродіння. Після 24 год бродіння за температури 28°C кислотність заквасок є вдвічі вищою і становить 8—10 град. порівняно з кислотністю заквасок, що бродили за температури 22°C. В густих заквасках кислотонакопичення відбувається інтенсивніше.

Визначали газоутворення в тісті, замішаному на густих заквасках, виброджених за температури 22°C і 28°C. Встановлено, що температура бродіння закваски незначно впливає на газоутворення в тісті. Але помітно, що газоутворювальна здатність закваски, яка бродила при температурі 28°C, є трохи вищою і становить для тіста на густій заквасці 180 см³/100 г тіста.

Вивчення впливу вологості закваски на її підйомну силу (за методом спливання кульки тіста) впродовж 24 год бродіння свідчить (табл. 1), що підйомна сила рідкої закваски є нижчою, але поліпшується впродовж 24 год бродіння. Підйомна сила густої закваски є приблизно в три рази вищою (час спливання кульки тіста скорочується в три рази), але після 16 год бродіння дещо знижується. Останнє можна пояснити зниженням вмісту зброджуваних цукрів у заквасці в кінці бродіння.

Таблиця 1. Вплив тривалості бродіння та вологості закваски на стартовій культурі LV1 на її підйомну силу

Тривалість бродіння, год	Підйомна сила закваски, хв	
	рідкої ($w = 65\%$)	густої ($w = 50\%$)
4	36	12
8	34	11
16	31	12
24	30	20

Аналіз впливу вологості закваски на підйомну силу свідчить, що густі закваски краще використовувати як розпушувачі, а рідкі — для підкислення напівфабрикатів за прискорених способів тістоприготування. Тому в подальших дослідженнях вивчали використання закваски на стартовій культурі LV1 при виготовленні хліба прискореним способом. Тісто готували прискореним безопарним способом з додаванням 1% пресованих дріжджів до маси борошна. Використовували рідку закваску на стартовій культурі LV1, кислотність якої в кінці бродіння становила 8 град., в кількості 25%, 50% та 75% до маси борошна в тісті, що відповідало 10%, 20% та 30% борошна в заквасці від усієї кількості. Тісто замішували на двошвидкісній машині протягом 5 хв на першій швидкості та 2 хв на другій, за температури 24—26°C тривалість бродіння становила 60 хв. Контролювали показники, що характеризують властивості тіста, кількість і якість клейковини та показники якості хліба: питомий об'єм, Н/D, кислотність. Результати дослідження наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Вплив дозування закваски на якість напівфабрикатів і хліба

Показники	Кількість внесеної закваски, % до маси борошна			
	Контроль (без закваски)	25	50	75
Кислотність тіста, град.	1,9	2,1	2,8	3,6
Газоутримувальна здатність тіста, $\text{см}^3/100 \text{ г}$ за 1 год	110	120	140	110
Формостійкість за розпливанням кульки за 3 год, мм	9,4	10,3	10,5	11,3
Кількість сирогої клейковини, %	13,1	13,0	12,9	13,0
Розтяжність клейковини, см	13,8	13,8	12,5	12,2
ИДК, од. приладу	87	78	70	66
Кислотність хліба, град.	1,8	2,0	3,0	3,6
Питомий об'єм хліба, $\text{см}^3/100 \text{ г}$	245	242	267	253
Н/D хліба	0,56	0,55	0,53	0,53

Досліди показали, що збільшення дозування закваски до 75% знижує газотримувальну здатність та формостійкість тіста, клейковина стає більш пружною. Найкраща якість хліба спостерігалась за дозування закваски 50%. Смак та аромат готових виробів зі збільшенням дозування закваски стає більш вираженим. У разі внесення 75% закваски дещо зменшувався питомий об'єм хліба та відчувався кислий смак.

Було визначено вміст ароматутворюючих речовин у хлібі, виготовленому з використанням заквасок. Для дослідження випікали три зразки хліба: контрольний (без внесення закваски), хліб з внесенням рідкої закваски як підкислювача у кількості 50% та хліб, виготовлений на густій заквасці, яка є розпушувачем (табл. 3).

Таблиця 3. Вплив заквасок на стартовій культурі LV1 на вміст ароматутворюючих речовин у хлібі

Показник	Хліб без заквасок	Хліб на заквасці	
		рідкій	густи́й
Вміст бісульфітзв'язуючих речовин, мл 0,1 моль/дм ³ розчину йоду	12,7	15,5	16,4

Встановлено, що при внесенні рідкої закваски вміст бісульфітзв'язуючих речовин збільшується на 22% порівняно з хлібом, виготовленим безопарним способом на пресованих дріжджах, а при використанні густої закваски як розпушувача вміст бісульфітзв'язуючих речовин зростає на 29,2%.

Отже, оптимальне дозування рідкої закваски як підкислювача становить 50 % або кількість закваски, що містить 20% борошна.

Наведені вище результати дослідження показали, що кращу підйомну силу мають густі закваски. Тому нами були проведені дослідження з приготування хліба на густих заквасках як розпушувачах. При цьому компанія Lesaffre рекомендує вносити в тісто 0,2% до маси борошна в тісті пресованих дріжджів. Оскільки кислотність густих заквасок вища, ніж рідких, кількість закваски, що вносилась у тісто, була меншою і становила 10% та 20% в перерахунку на борошно, що вноситься із закваскою, або 15,75% та 31,5% закваски до маси борошна в тісті. Щоб перевірити доцільність використання пресованих дріжджів, готували зразки на заквасках без дріжджів та з використанням заквасок і 0,2% пресованих дріжджів. Оскільки кислотність густої закваски, що бродила 24 год, за температури 28°C є завищеною для пшеничного хліба — 10 град., закваску готували у двох варіантах: за температури бродіння 28°C і тривалості бродіння 20 год та за температури бродіння 22°C і тривалості бродіння 24 год. При температурі бродіння закваски 28°C її вносили у тісто в кількості 15,75% та 31,5% до маси борошна в тісті. При температурі бродіння 22°C кислотність закваски є нижчою, тому її вносили лише в кількості 31,5%. Результати дослідження наведені в табл. 4.

Аналіз якості готових виробів показав, що найбільший питомий об'єм має зразок, де дозування борошна в закваску температурою 28°C становить 20% та з внесенням дріжджів 0,2% до маси борошна в тісті. Отже, внесення невеликої кількості пресованих дріжджів у тісто (0,2%) дає змогу скоротити тривалість бродіння тіста і вистоювання тістових заготовок та сприяє зростанню

питомого об'єму хліба. Кислотність тіста і хліба у цьому випадку знижується незначно.

Таблиця 4. Вплив параметрів приготування густої закваски та тіста на якість напівфабрикатів і хліба

Показники	Температура закваски, °С, тривалість бродіння, год					
	22°С, 24 год		28°С, 20 год			
Кислотність закваски, град.	2,5		6,6			
Кількість борошна в заквасці, % до маси борошна в тісті	20%		10%		20%	
Кількість дріжджів, % до маси борошна в тісті	—	0,2%	—	0,2%	—	0,2%
Тривалість бродіння тіста, хв	120	90	120	90	120	90
Кислотність тіста, град.	2,0	2,0	2,8	2,6	3,0	2,8
Питомий об'єм тіста через 3 год бродіння, см ³ /100 г тіста	130	170	100	130	140	180
Тривалість вистоювання до готовності, хв	150	120	150	120	150	120
Кислотність хліба, град.	2,2	2,0	3,2	2,6	4,0	3,8
Питомий об'єм хліба, см ³ /100г	230	306	179	247	246	307
H/D подового хліба	0,55	0,57	0,60	0,55	0,60	0,50

Незначно відрізняється за питомим об'ємом зразок з дозуванням закваски 20% та кількістю дріжджів 0,2%, де температура бродіння закваски була 22°С. Проте у цьому варіанті, хоча тривалість бродіння закваски була більшою на 4 год, кислотність хліба суттєво нижча.

Як зазначено вище, використання стартових культур для розведення закваски в один цикл суттєво здорожує продукцію. Для можливості безперервного ведення пшеничних заквасок на стартовій культурі необхідно дослідити процес поновлення заквасок. В роботі процес поновлення заквасок здійснювали для густих заквасок за внесення стиглої закваски у кількості 10, 30 та 50% до загальної кількості закваски. Стигла закваска бродила 24 год за температури 28°С і мала кислотність 9,8 град. і підйомну силу 108 хв. При цьому ставилось завдання встановити час бродіння заквасок у циклі поновлення до досягнення необхідної кислотності. Отримані дані наведені на рис. 3 та рис. 4.

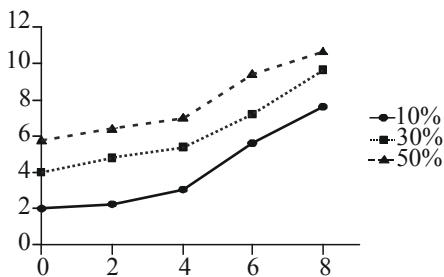


Рис. 3. Залежність зміни кислотності густої закваски у процесі поновлення з використанням 10%, 30%, 50% стиглої закваски

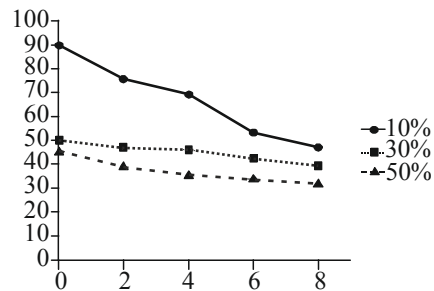


Рис. 4. Зміна підйомної сили густої закваски у процесі поновлення з використанням 10%, 30%, 50% стиглої закваски

Встановлено (рис. 3), що початкова кислотність закваски після поновлення збільшується зі збільшенням кількості закваски на поновлення і становила 2 град. у разі внесення 10% стиглої закваски, 4 град. — у разі внесення 30 % стиглої закваски і 6 град. за внесення 50% стиглої закваски. За 8 год бродіння кислотність поновлених заквасок досягала, відповідно, 8 град., 9,8 та 10,5 град. Як показано вище, кислотність закваски 10 град. забезпечує необхідну кислотність виробів. Отже, внесення стиглої закваски на поновлення в кількості 30—50% забезпечує досягнення необхідної кислотності поновленої закваски за 8 год бродіння. Підйомна сила заквасок за цей час поновлення становить, відповідно, 50 хв, 40 хв та 30 хв.

Компанією Lesaffre розроблені технологічні рекомендації з виготовлення різного асортименту виробів з використанням заквасок на стартових культурах, зокрема, здобних виробів. У Франції до традиційних здобних виробів відносять бріюш, який може виготовлятися за різними рецептурами. Залежно від рецептури виробів тісто для їх виготовлення можуть готувати на заквасках з додаванням пресованих дріжджів або без них. Нами була проведена порівняльна оцінка якості готових виробів бріюш, виготовлених за різними технологіями: за приготування тіста безопарним способом, опарним способом та на заквасках з використанням стартової культури LV1. Рецептури приготування кожного зразка наведені в табл. 5.

Тісто безопарне замішували з використанням 4% пресованих дріжджів, опарне — з використанням 3% дріжджів, тісто на заквасках готувалось без додавання пресованих дріжджів з внесенням у закваску 0,25% до маси борошна стартової культури LV1. В опару вносили 50% борошна, дріжджі та всю воду, необхідну для приготування тіста; в закваску — 50% борошна, стартову культуру, частину цукру та жиру — по 2,5 % до маси борошна в тісті, частину солі. Решту сировини вносили у тісто. Тривалість бродіння тіста становила 60 хв. Остаточне вистоювання проводили до готовності тістових заготовок. Показники якості виробів наведені в табл. 6.

Таблиця 5. Рецептура приготування тіста безопарним, опарним способом і на заквасці

Найменування сировини	Бріюш безопарним способом	Бріюш на опарі		Бріюш на заквасці	
		Опара	Тісто	Закваска	Тісто
Борошно пшеничне в/с	100,0	50,0	50,0	50,0	50,0
Дріжджі хлібопекарські пресовані	4,0	3,0	—	—	—
Цукор білий кристалічний	18,0	—	18,0	2,5	15,5
Сіль кухонна харчова	2,0	—	2,0	0,7	1,3
Масло вершкове	20,0	—	20,0	2,5	17,5
Яйця курячі	20,0	—	20,0	—	20,0
Вода	30,0	30,0	—	25,0	5,0
Стартова культура LV1	—	—	—	0,25	—

Експериментальні дані свідчать, що бріюш, виготовлений безопарним способом з використанням найбільшої кількості пресованих дріжджів, має найбільший питомий об'єм, але поступається іншим виробам за органолептичними показниками, містить менше ароматутворюючих речовин і має нижчу

кислотність. Бріюш, виготовлений на заквасках, має питомий об'єм і органо-лептичні показники такі, як і при опарному способі тістоприготування, але містить найбільше ароматутворюючих речовин, краще зберігає властивості м'якушки, зокрема має найнижчу крихкуватість м'якушки.

Таблиця 6. Показники якості виробів бріюш, виготовлених безопарним, опарним способом тістоприготування і на заквасці

Показники якості виробів	Спосіб тістоприготування		
	Бріюш безопарним способом	Бріюш на опарі	Бріюш на заквасці
Структура пористості	Пори дрібні, тонкостінні, рівномірно розподілені по всій поверхні		
Смак	Недостатньо виражений, характерний для хліба	Інтенсивно виражений, характерний для хліба	
Аромат	Недостатньо виражений, властивий для хліба	Інтенсивно виражений, властивий для хліба	
Стан поверхні	Бездоганно гладенька, без тріщин і підривів, глянцева		
Колір м'якушки	Дуже світла	Світла, з жовтим відтінком	
Питомий об'єм, см ³ /100г	526	454	455
Кислотність, град.	2,8	3,0	4,0
Деформація м'якушки, од. пенетромера, через 24 год	130	98	116
Крихкуватість, %	6,8	15,5	6,1
Вміст ароматичних речовин, мл 0,1 н розчину йоду в 100 г СР	24,2	26,2	28,4

Особливістю приготування заквасок для виготовлення бріюшів є внесення частини додаткової сировини в закваску. Для обґрунтування доцільності цієї операції та пояснення значення внесення окремих рецептурних компонентів у закваску проводили досліді, в яких готували закваску без внесення додаткової сировини, з внесенням цукру в кількості 2,5% до маси борошна в тісті, з внесенням жиру в кількості 2,5% та із сумісним використанням цукру та жиру. Бродіння зразків проводилось за температури 28°C, вологість закваски становила 39%. Визначали вплив рецептурних компонентів на кислотонакопичення і зміну підйомної сили впродовж 16 год з інтервалом 4 год. Аналізували якість хліба, випеченого з використанням цих заквасок (табл. 7).

Встановлено, що використання цукру незначно інтенсифікує підвищення кислотності закваски, але поліпшує її підйомну силу, що пояснюється збільшенням у заквасці кількості зброджуваних цукрів, оскільки дріжджі *S. Chevalieri* не зброджують мальтозу. Жир практично не впливає на кислотність закваски і незначно поліпшує підйомну силу. Сумісне використання цукру і жиру незначно впливає на кислотність заквасок, але більшою мірою поліпшує їх підйомну силу.

Таблиця 7. Вплив рецептурних компонентів на якість закваски та готових виробів

Показник	Приготування закваски з використанням							
	тільки стартової культури		стартової культури і цукру		стартової культури і жиру		стартової культури, цукру і жиру	
0	0,6	43	0,6	40	0,6	42	0,6	40
4	1,6	49	1,8	24	1,6	46	1,8	17
8	2,2	52	2,4	23	2,0	50	2,6	14
12	2,9	54	3,0	45	2,8	53	3,0	36
16	3,1	301	3,3	103	3,2	336	3,5	109
Готові вироби								
Питомий об'єм, см ³ /100г	330		385		352		373	

Отже, встановлені залежності впливу технологічних факторів на показники якості заквасок і готових виробів дають змогу регулювати параметри технологічних процесів для забезпечення найкращої якості виробів, обирати правильні управлінські рішення та створюють підґрунтя для подальшого вдосконалення технології виробництва хліба на пшеничних заквасках.

Висновки

1. Встановлено закономірності впливу вологості й температури на кінетику кислотонакопичення та зміну підйомної сили закваски на стартових культурах LV1. Показано, що кислотність і підйомна сила густих заквасок є вищими порівняно з рідкими заквасками, впродовж перших 6—9 годин бродіння практично не змінюється, що пояснюється домінуванням у цей період процесів розмноження мікроорганізмів над процесом бродіння. Дотримання вищої температури заквасок — 28°C сприяє швидшому досягненню необхідної кислотності заквасок і дає змогу скоротити процес їх бродіння з 24 год до 20 год.

2. Доведено, що у разі використання рідкої пшеничної закваски на стартовій культурі LV1 як підкислювача раціонально вносити закваску при приготуванні тіста в кількості 50% до маси борошна в тісті, що відповідає 20% борошна, яке вноситься із закваскою.

При використанні закваски на стартовій культурі LV1 як розпушувача для приготування хліба доцільно використовувати густу закваску в кількості, що містить 20% борошна (в перерахунку на закваску — 31,5%), та вносити в тісто 0,2% до маси борошна пресованих дріжджів.

3. Встановлена можливість використання густої закваски на стартовій культурі LV1 як розпушувача для виготовлення здобних виробів без використання пресованих дріжджів. При цьому кількість борошна, що вноситься із закваскою, становить 50% до маси борошна в тісті; також у закваску вноситься частина цукру, жиру та солі. Якість здобних виробів, виготовлених за цих умов, не поступається якості виробів, виготовлених опарним способом, і перевершує її за показниками, що зумовлюють смак та аромат виробів.

4. Експериментально обґрунтована доцільність внесення у закваску цукру та жиру (кожного у кількості 2,5% до маси борошна) для поліпшення її підйомної сили та незначного підвищення кислотності.

Література

1. Афанасьева О.В. Микробиология хлебопекарного производства. С.-Петербург. фил. гос. НИИ хлебопекар. пром-ти. Санкт-Петербург: Береста, 2003. 220 с.
2. Дробот В.І. Технологія хлібопекарського виробництва. Київ: Логос, 2002. 363 с.
3. Матвеева И.В., Белявская И.Г. Биотехнологические основы приготовления хлеба. Москва: ДеЛи принт, 2001. 150 с.
4. Грегірчак Н.М. Мікробіологія харчових виробництв: [лабор. практикум]. Київ: НУХТ, 2009. 302 с.
5. Lesaffre T. The science of sourdough starters: modern science meets ancient chemistry. *European baker & biscuit*. 2018. Issues 3. P. 36—39.
6. Besbes E., Le Bail A., Seetharaman K., Corsetti A Technology of Sourdough Fermentation and Sourdough Applications. Handbook on Sourdough Biotechnology. Springer, 2013. P. 85—103.
7. De Vuyst L., Neysens P. The sourdough microflora: biodiversity and metabolic interactions. *Trends in Food Science & Technology*. 2005. Volume 16, Issues 1—3. P. 43—56.
8. Galle S. Sourdough: A tool to improve bread structure. Handbook on Sourdough Biotechnology. Springer, 2013. P. 217—228.
9. Gobetti M. The sourdough microflora: Interactions of lactic acid bacteria and yeasts. *Trends in Food Science & Technology*. 1998. Volume 9, Issue 7. P. 267—274.
10. Huys G., Daniel H.-M., De Vuyst L. Taxonomy and biodiversity of sourdough yeasts and lactic acid bacteria. Handbook on Sourdough Biotechnology. Springer, 2013. P. 105—154.

MODIFICATION OF FOODSTUFFS: VARIABILITY OF APPROACHES AND PRIORITIES

G. Simakhina, R. Naumenko

National University of Food Technologies

Key words:

*Chemical composition
Sensory characteristics
Foodstuffs for well-being
Modification
Quality of life*

Article history:

Received 08.11.2018
Received in revised form
29.11.2018
Accepted 20.12.2018

Corresponding author:

G. Simakhina
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The scientific and practical specifications of contemporary food industry, particularly industry of products for well-being as its principally new sphere, are that the products obtained and destined for consumption must correspond to the main principles of the 21st century nutrition — quality, safety and effectiveness. This is because it is aimed at health protection for people, increasing the quality of life, and achieving the active longevity.

Food and procession industry in Ukraine are obliged to provide the people with high-quality foodstuffs obtained by scientifically proved norms, first of all with optimal content of micronutrients (vitamins, mineral elements, etc.). The main sources of these substances are various raw materials: fruit and berries (wild or cultivated), vegetables, cereals, curative plants and so on. Hence, the reasonable methods to process it and furthermore to benefit the high biological value of ready-to-eat products throughout the year are to be paid the proper attention.

This task is quite complicated and diverse, regarding the wide species array of the raw materials, dependence of harvest capacity on the level of harvest (which is defined mostly by meteorological conditions, especially during blossoming, the diversity of methods to process the raw, and some other factors). It is also necessary to study the dynamics of chemical composition of vegetables, fruit and berries throughout their vegetative period in order to define the optimal terms to gather them. Upon orientation on the world experience in production of foodstuffs for well-being, the specialists constantly control the question of improvement of technological processes and elaboration of new recipes for foodstuffs within the conditions of insistent changes of consumer's requirements and the achievements of technological progress. The targeted shifts in chemical composition and sensory indices of traditional foodstuffs, achieved by different ways of modification, make possible solving each of the aforesaid tasks. The materials of this article evidence that fact.

МОДИФІКАЦІЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ: БАГАТОВАРІАНТНІСТЬ ПІДХОДІВ ТА ПРІОРИТЕТИ

Г.О. Сімахіна, Р.Ю. Науменко

Національний університет харчових технологій

Своєрідність сучасної харчової промисловості, особливо її принципово нової сфери — індустрії здорового харчування — як науки і практики полягає в тому, що отримана і призначена для споживання продукція має відповідати основним принципам XXI століття — якість, ефективність та безпека, оскільки вона орієнтована на збереження здоров'я населення, підвищення якості життя, досягнення активного творчого довголіття.

Переробна та харчова промисловість України зобов'язані забезпечити населення високоякісними харчовими продуктами за науково обґрунтованими нормами, передусім з оптимальним вмістом мікронутрієнтів — вітамінів, мінеральних елементів тощо. Головним джерелом цих сполук є сировина: плодово-ягідна (дикоросла та культивована), овочева, зернова, лікарські рослини тощо. Тому раціональним способом її перероблення, які забезпечують високу біологічну цінність продукції впродовж року, необхідно приділяти першочергову увагу.

Завдання це складне та об'ємне, якщо врахувати широкий видовий склад сировини, залежність обсягу заготівель від врожайності, яка визначається головним чином метеорологічними умовами (особливо в період цвітіння), багатоманітністю технологічних способів оброблення та іншими чинниками. Необхідно також вивчати динаміку хімічного складу овочів, плодів, ягід впродовж вегетаційного періоду для визначення оптимальних термінів їх збору. Маючи за орієнтир світовий досвід виробництва продукції для здорового харчування, фахівці постійно тримають у полі зору питання удосконалення технологічних процесів, розроблення нових рецептур продуктів в умовах постійної зміни вимог споживачів та досягнень науково-технічного прогресу. Цілеспрямована зміна хімічного складу та сенсорних показників традиційних харчових продуктів за допомогою різних способів модифікації дає можливість вирішити кожне із цих завдань, про що свідчать матеріали цієї статті.

Ключові слова: *хімічний склад, сенсорні характеристики, оздоровчі продукти, модифікація, якість життя.*

Постановка проблеми. *Продукція сучасної харчової промисловості стала важливою складовою підтримання і збереження здоров'я людини. Враховуючи вплив біокомпонентів харчових продуктів на функціонування живого організму, можна стверджувати, що вони переважаючим чином визначають його інтелектуальну та виробничу діяльність, стан здоров'я та якість життя.*

Наука про харчування стрімко розвивається, постійно продукує нові концепції, поглиблено вивчаючи об'єкти дослідження, періодично змінюючи, спростовуючи одні парадигми і висуваючи нові. Таким чином здійснюється

прогрес у нутриціології, передусім у тій сфері, яка з'ясовує вплив харчування на стан здоров'я людини і привносить нові об'єктивні дані щодо нерозривного триєдиного зв'язку «людина–харчування–здоров'я».

На цьому ґрунті знань цілком логічно стало формування і розвиток нового напрямку нутриціології, фармаконутриціології, підкреслюючи цим взаємозумовленість здоров'я і харчування. Центральна проблема цієї науки пов'язана із порушенням роботи усіх систем організму людини при розбалансуванні харчового раціону, вираженого дефіциту тих чи інших нутрієнтів, а також екстремальних зовнішніх впливах. Остання позиція особливо чітко простежується при аналізі стану здоров'я учасників АТО [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розв'язання цієї проблеми вбачається у двох варіантах з єдиним об'єднуючим центром — здоров'я людини. Один із них включає суто медичні аспекти, які ми в даній статті не розглядаємо, а інший фокусується на проблемах розроблення, виробництва та ефективного просування на вітчизняний ринок оздоровчих продуктів різного функціонального спрямування як необхідної умови поліпшення структури та якості харчування населення в сучасному несприятливому екологічному довіллі.

У наш час харчові продукти перестали розглядати лише як засоби поповнення організму енергією та пластичними матеріалами. Масштабні дослідження, виконані в другій половині минулого століття, показали [2], що всі біологічно активні речовини (БАР) — білки, жири, вуглеводи, вітаміни, мінеральні речовини тощо — необхідні для нормальної життєдіяльності організму, надходять переважно з їжею і засвоюються в результаті її біотрансформації, перетравлювання та всмоктування. Перетворюючись у процесах метаболізму на структурні та функціональні елементи клітин організму, БАР забезпечують його фізичну та розумову витривалість, визначають стан здоров'я та працездатність. Нестача в раціоні тих чи тих БАР неминуче призводить до негативних наслідків.

З цієї точки зору модифіковані певним чином продукти мають стати особливою складовою у раціонах харчування, що відрізняються від традиційної продукції своєю індивідуальною спрямованістю на поліпшення функціонування окремих органів та систем організму людини. Так, введення до рецептури продукту L-карнітину надає йому кардіопротекторних властивостей — серце цілком і повністю залежить від цієї сполуки, оскільки 70% його енергозабезпечення надходить від жирів, котрі організм не може утилізувати без карнітину [3].

Найбільш простим і економічно вигідним шляхом вирішення зазначених завдань є модифікація традиційних харчових продуктів, тобто цілеспрямована зміна їхнього хімічного складу та органолептичних властивостей із врахуванням тих специфічних характеристик, яких набувають модифіковані харчові продукти.

Метою дослідження є характеристика ефективності та доцільності традиційних і нових способів модифікації харчових продуктів для визначення пріоритетних з точки зору надання продуктам оздоровчих, лікувальних та профілактичних властивостей.

Матеріали і методи. В основу методологічної бази дослідження покладено методи наукового пізнання, узагальнення праць зарубіжних і вітчизняних учених у даному напрямі, зіставлення різних способів модифікації харчових продуктів.

Викладення основних результатів дослідження. Відповідно до Закону України «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів» №1602-VII від 22.07.2014 [4], виробництво харчових продуктів, а значить, і їхня модифікація, повинні базуватись на сучасних технологіях, принципах здорового харчування, за наявності матеріально-технічної бази, здатних забезпечити якість готової продукції за вимогами національних або міжнародних стандартів. Усі ці чинники є складовими єдиного інтегрованого виробничого процесу, орієнтованого на випуск традиційної і модифікованої продукції, на забезпечення її якісних та конкурентоспроможних характеристик.

За класифікацією, наведеною в [5], в практичних умовах використовують такі види модифікації: сенсорну, структурно-агрегатну, генетичну, хімічну, біологічну, фізіологічну, поліфункціональну. Результати наших досліджень показали доцільність віднесення до цього переліку ще одного, найсучаснішого виду модифікації — механоактиваційного [6].

Розглянемо особливості кожного із видів модифікації з точки зору тих характеристик, яких вони надають традиційним харчовим продуктам, і які з них за сукупністю корисних ознак можна рекомендувати для отримання профілактичних, оздоровчих, лікувальних продуктів.

Найбільш простим і розповсюдженим видом модифікації є *сенсорна*, призначена для надання готовим продуктам привабливого смаку, кольору, запаху, консистенції. Особливо важливим цей вид модифікації стає при розробленні продуктів для людей з певними захворюваннями або травмами, коли чутливість сенсорних систем організму підвищується і неприємний запах чи смак можуть не лише викликати дискомфорт, а й проблеми із травною системою та погіршення стану здоров'я [7].

Разом з тим слід враховувати, що модифікуючі компоненти можуть мати токсичні властивості і негативно впливати на організм людини, тому бажано для цього виду модифікації використовувати лише натуральні сполуки. Так, серед понад 500 різних штучних добавок, які використовуються в харчовій промисловості для надання продукції товарного вигляду, лише декілька можуть бути корисними для людини [8]: добавка Е 300 — вітамін С; Е 307 — вітамін А; Е 101 — вітамін В₂; Е 406 і Е 407 — полісахариди з червоних морських водоростей та деякі інші. Більшість штучних добавок або індиферентні стосовно організму людини, або можуть завдавати йому шкоди. Це добавка Е 128 — червоний барвник, має канцерогенні властивості, сприяє інвалідизації ще в зародковому стані; міститься у ковбасах та сосисках (особливо у дешевих). Це добавки Е 216 та Е 217 — консерванти, які викликають харчові отруєння; містяться у цукерках, шоколаді з начинкою, м'ясних продуктах, паштетах, супах. Це добавка Е 320 — антиоксидант, підвищує вміст «шкідливого» холестерину в крові; порушує роботу серцево-судинної системи; міститься в оліє-жирових продуктах, жувальній гумці. Особливо шкідлива

добавка Е 951 — аспартам, цукрозамінник, викликає онкологічні захворювання головного мозку та нирок, депресії, напади паніки, здатність до самогубства та насильства. Цю добавку додають практично до всіх безалкогольних напоїв (у тому числі для дитячого харчування), жувальної гумки, кондитерських та хлібопекарських виробів.

Особливо небезпечним є введення до одного продукту декількох штучних добавок, оскільки вони можуть взаємодіяти між собою і утворювати нові токсичні, ще не вивчені сполуки.

Ще одним застереженням до використання штучних добавок при сенсорній модифікації є встановлений факт, що такі добавки часто знижують або повністю нівелюють ефект корисної дії біологічно активних речовин харчових продуктів.

Таким чином, сенсорну модифікацію, особливо при виробництві харчових продуктів спеціального призначення, необхідно здійснювати лише на основі натуральних добавок, альтернативних штучним аналогам.

З давніх часів, навіть у кустарних умовах використовували і використовують *структурно-агрегатну модифікацію* сировини, особливістю якої є отримання харчових продуктів у рідкому, твердому, порошкоподібному, зневодненому станах тощо. Цей вид модифікації дає можливість отримати з одного виду сировини декілька продуктів у різних агрегатних станах. Наприклад, у [9] з кедрових горішків отримано олію, кедрове борошно знежирене, білковий концентрат, білковий ізолят.

Найбільше суперечностей серед споживачів та й ряду учених викликає наступний вид модифікації сільськогосподарської сировини — *генетична*. Її стали використовувати з 1972 року, коли американські вчені Я. Янг та П. Байєр опублікували перші дані щодо рекомбінації молекул ДНК; потім у найбільш розвинутих країнах світу, а зараз на значній частині планети. Генна інженерія — це один із напрямів, який дає можливість модифікувати сільськогосподарські культури таким чином, що їхня врожайність різко зростає, поліпшуються характеристики, збільшується кількість корисних для людини БАР [10]. Генна інженерія відрізняється від звичайної селекції тим, що комбінує генетичний матеріал різних об'єктів і отримує зовсім нові генетично модифіковані організми.

Однак щодо розвитку цього напрямку модифікації, особливо у галузі харчової продукції, є серйозні заперечення. Наприклад, невідомо, як буде діяти в організмі людини внесений ген; як впливатимуть генетично модифіковані організми на інші рослини чи тварини; скільки таких продуктів можна вживати без шкоди для організму тощо. І поки на ці та інші питання науковці не дадуть однозначної відповіді стосовно повної безпеки таких продуктів на основі клінічних, медико-біологічних, санітарно-гігієнічних, генетичних, мікробіологічних та інших досліджень, вважаємо, що методи генетичної модифікації впроваджувати у практику виробництва та перероблення сільськогосподарської продукції передчасно і не обґрунтовано.

Основні сфери використання *хімічної* модифікації — внесення штучних добрив в процесі вирощування сільськогосподарської сировини; оброблення

хімічними препаратами плодів та овочів для подовження терміну їх зберігання; оброблення плодово-ягідної сировини розчинами кріопротекторів для підвищення її кріорезистентності при заморожуванні; внесення хімічних сполук до напівфабрикатів для інтенсифікації технологічних процесів та надання готовим продуктам високих органолептичних характеристик тощо.

Хімічна модифікація не викликає таких побоювань, як генетична. Однак отриману продукцію теж необхідно ретельно контролювати за показниками безпеки. Адже багато харчових добавок у певних концентраціях набувають токсичних властивостей. Вони змінюють природний склад харчових продуктів, призводять до появи нових сполук, вплив яких на організм людини мало вивчено. Більш того, деякі з них віднесені до категорії небезпечних, наприклад аспартам, однак їх продовжують використовувати, завдаючи непоправної шкоди здоров'ю населення, особливо дітей і молоді.

Біологічна модифікація — одна із найдавніших за тривалістю використання при виробництві харчової продукції. Це вид модифікації, в основі якої лежить застосування одноклітинних організмів (міцеліальні гриби, дріжджі, бактерії) при отриманні хлібобулочних виробів, кисломолочних продуктів, пива, вина, соусів, приправ тощо. На відміну від хімічної модифікації харчової продукції, негативні ефекти біологічної модифікації можна повністю виключити при дотриманні усіх необхідних санітарно-гігієнічних норм в ході технологічного процесу за наявності доброякісної сільськогосподарської сировини.

Разом з тим, слід зазначити, що в сучасних умовах для посилення біохімічних реакцій у харчових технологіях можливе використання принципів генної інженерії при отриманні генетично змінених штамів мікроорганізмів. Тоді залишаються в силі всі застереження, сформульовані при розгляді особливостей генетичної модифікації харчових продуктів.

Фізіологічна модифікація є новим і надзвичайно перспективним науково-практичним напрямом. Тому вона викликає найбільший інтерес як в межах даної теми, так і загалом в сучасних харчових технологіях. Йдеться про збагачення традиційних харчових середовищ натуральними біологічно активними речовинами та їх аналогами у концентраціях, що відповідають фізіологічним потребам організму людини, встановлених Всесвітньою організацією охорони здоров'я (ВООЗ).

Саме на основі цього виду модифікації на світовому ринку, починаючи з 1986 року, з'явилося нове покоління харчових продуктів, яке називають здоровим, функціональним, оздоровчим харчуванням. Цей сектор світового ринку розвивається сьогодні найбільш інтенсивно, і тому фізіологічна модифікація продуктів, яка викликала справжню революцію у сфері харчових виробництв, потребує окремого розгляду.

Поліфункціональна модифікація — це істотна складова попереднього напрямку. Її здійснюють шляхом використання комплексів біологічно активних речовин (вітамінів, мінеральних речовин, амінокислот тощо) як природного походження, так і їх аналогів, наприклад, у вигляді різноманітних преміксів. Це дає можливість, з одного боку, надати поліфункціональних корисних властивостей харчовим продуктам, а з другого — отримати з одного виду сировини

цілий спектр харчової продукції, кожен вид якої має певну функціональну спрямованість, зумовлену комплексом БАР. Дослідження показали, що і моно-, і поліфункціональних властивостей харчовим продуктам надають біологічно активні речовини у складі рослинних комплексних збагачувачів, дієтичних добавок та натуральних біокоректорів, що ними збагачують традиційні харчові середовища.

І останній вид модифікації харчових продуктів — *механоактиваційний*. Він поки що не лише не набув належного розповсюдження в Україні, а й дуже мало описаний у літературі. Хоча вже з середини ХХ століття почав формуватись так званий четвертий компонент технології (перші три — зміни температури і тиску, механічне або хімічне диспергування, каталіз), який за 60 років розвитку переконливо довів, що він не менш важливий, ніж попередні три, особливо для харчових виробництв [11]. Цей четвертий компонент технології вчені К. Хесс, Е. Штойрер та Х. Фрамм ще в 1942 р. назвали «механічним активуванням» і таким терміном він трактується сучасною наукою.

Сутність механоактивування полягає в тому, що при такому подрібненні матеріалів і пов'язаному з цим руйнуванням часток матеріалів у них відбуваються складні зміни фізичного і хімічного стану. Зокрема, на поверхні часток утворюються дефекти, розколи, тріщини з накопиченням енергії активування. В результаті, наприклад, реакційна здатність кінцевого продукту набагато перевищує цей показник для вихідного матеріалу.

Виконані на кафедрі технології оздоровчих продуктів дослідження показали, що подрібнення сухого бурякового жому в апаратах спеціальної конструкції — дезінтеграторах з використанням ефектів механоактивування привело до істотного збільшення в отриманому модифікованому напівфабрикаті вмісту водорозчинних моносахаридів (арабінози, ксилози, глюкози) та легкогідролізованих полісахаридів у результаті розщеплення високо полімерів жому при диспергуванні [6].

До вибору способу модифікації з урахуванням тих специфічних характеристик, яких набувають модифіковані продукти і які визначаються здебільшого введенням до харчових середовищ тих чи тих компонентів, ставляться строгі вимоги.

Особливо це стосується продуктів, які позиціонуються на світовому ринку як «корисні для здоров'я». При ньому оздоровчі продукти розглядаються як соціально значущий товар, тому що він необхідний для життєзабезпечення населення України всіх вікових категорій, для підтримання продовольчої безпеки і розвитку української нації.

Висновки

Однією із особливостей модифікації харчової сировини, напівфабрикатів та продуктів є її профілізація в рамках певної галузі. Тобто модифікацію можна здійснювати в будь-якій галузі харчової промисловості, а також в закладах ресторанного господарства. Щоправда, в останньому випадку слід розраховувати на виробництво продукції обмеженої номенклатури. Разом з тим, така спеціалізація дає змогу невеликим підприємствам сконцентрувати увагу на розробленні, виробництві і реалізації саме тієї модифікованої про-

дукції, яка в даний час найбільш актуальна і користується найбільшим попитом у споживачів.

Пріоритети фізіологічної, поліфункціональної, механоактиваційної, певною мірою сенсорної модифікації харчових продуктів визначаються як доведеним доказовою медициною взаємозв'язком харчування та здоров'я, так і панівним у сучасному суспільстві прагненням до здорового способу життя та підвищення його якості, усвідомленням індивідуальної відповідальності кожного за свій фізичний та духовний стан, реалізацією способів його підтримання на належному рівні. Ці чинники, а також демографічні зміни, екологічне середовище, підвищення рівня культури харчування і зміни стереотипів харчової поведінки населення справляють суб'єктивний вплив на ринок здорової продукції, сприяючи його розвитку та розширенню. Велику роль відіграє також постійна роз'яснювальна робота з основних питань здорового харчування, запровадження досвіду провідних країн світу, врахування соціальних потреб різних категорій споживачів. Продуктам, які в результаті модифікації набувають певного функціонального спрямування, характерна своя специфіка, своя модель життєвого циклу, своє коло шанувальників.

Модифікація харчових продуктів розпочинається з наукової гіпотези щодо їхнього складу та призначення, яка переходить у реальне втілення теоретичних уявлень у готовий продукт; бажаним продовженням цієї роботи є виробництво модифікованих харчових продуктів у промислових умовах і їх просування на ринку при відповідному маркетинговому супроводі.

Література

1. Українець А.І., Сімахіна Г.О., Стеценко Н.О., Науменко Н.В., Кочубей-Литвиненко О.В. Нові продукти для раціонів військовослужбовців. Київ: Сталь, 2017. 292 с.
2. Сімахіна Г.О., Стеценко Н.О., Науменко Н.В. Біологічно активні речовини в харчових технологіях. Київ: НУХТ, 2016. 455 с.
3. Аткинс Р. Биодобавки доктора Аткинса. Пер. с англ. А. Киселева. Москва: РИПОЛ Класик, 1999. 480 с.
4. Закон України «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів» (№1602-VII від 22.07.2014 р.). URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/771/97-80>.
6. Кудряшева А.А. Секреты хорошего здоровья и активного долголетия. Москва: Пищепромиздат, 2000. 320 с.
7. Сімахіна Г.О. Підвищення харчової цінності сухого бурякового жому механоактивуванням. *Цукор України*. 2013. № 7—8. С. 43—46.
8. Притульська Н.В., Мотузка Ю.М., Антюшко Д.П. Органолептичні властивості продуктів на сухій розчинній основі для ентерального харчування. *Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании*. Сборник научных трудов. Т. 9. Одесса, 2013. С. 82—86.
9. Ципріяні В.І., Матасар І.Т., Слободкін В.І. Гігієна харчування з основами нутриціології. Київ: Медицина, 2007. 544 с.
10. Субботина М.А. Исследование химического состава кедровой муки обезжиренной. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2010. №4. С. 49—50.
11. Эйзлер А.К. Европейские исследования. БАДы, витамины, ГМО, биопродукты. Как сделать правильный шаг к здоровому долголетию. Москва: Изд-во «Э», 2016. 432 с.
12. Авакумов Е.Г. Механические методы активации химических процессов. Новосибирск: Наука, 1979. 265 с.

MICROSTRUCTURE ANALYSIS OF MUSHROOM SUSPENSION AT PREPARATION STAGE BEFORE SPRAY DRYING

N. Sharkova, T. Turchyna, E. Zhukotskyi, H. Dekusha

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Key words:

*Shiitake mushroom
Dispersion
Homogenization
Suspension
Microstructural analysis*

Article history:

Received 15.11.2018
Received in revised form
04.12.2018
Accepted 18.12.2018

Corresponding author:

N. Sharkova
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

Expensive immunomodulatory and antitumor drugs produced by leading pharmaceutical companies are made by chemical isolation of therapeutic polysaccharides from shiitake fruit bodies, but in doing so the biologically active complex of proteins, vitamins and minerals of the fungus is lost.

The Institute of Engineering Thermophysics of National Academy of Sciences of Ukraine has proposed a nanotechnological processing technique of shiitake body or its cap at the preparation phase for spray drying. In particular, during the homogenization a hydromechanical destruction of high-strength chitin-glucan structures is achieved and a high degree of dispersion of particles of insoluble fractions in the mushroom suspension is obtained, which should improve its fluid properties. However, in case of DPEI-processing of the shiitake bodies, stable, high-viscosity heterogeneous colloidal systems are formed and even diluted in water they are still non flowing and it is impossible to bring them into the spray dryer. That fact requires studying the nature of these phenomena.

A purpose of research is to study the microstructure of dispersed particles of the mushroom suspension obtained under different technological conditions at DPEI-processing of the shiitake bodies in the process of preparation for spray drying.

The microstructural analysis has shown that stems and caps of the fungus differ from each other not only in chemical composition, but also in structure, that determines their strength properties and the efficiency of dispersion and homogenization processes. Thus an aggregation of developed gif structures occurs in the mushroom suspension, that worsens the conditions of its spray drying.

Suspensions that are made of fungus caps have better viscosity characteristics and addition of 5% cyclodextrin to them contributed to a decrease in their viscosity by 25—35%. When spray drying such mushroom suspension, an increase in the yield of power from the drying chamber by 2 times, improvement in its quality and shelf life extension of product up to 1 year were achieved.

DOI: 10.24263/2225-2924-2018-24-6-29

МІКРОСТРУКТУРНИЙ АНАЛІЗ ГРИБНОЇ СУСПЕНЗІЇ НА СТАДІЇ ПІДГОТОВКИ ДО РОЗПИЛЮВАЛЬНОГО СУШІННЯ

Н.О. Шаркова, Т.Я. Турчина, Е.К. Жукотський, Г.В. Декуша

Інститут технічної теплофізики НАН України

Високовартісні препарати імуномодуючої та протипухлинної дії виробляються провідними фармацевтичними компаніями шляхом хімічного виділення лікувальних полісахаридів з плодового тіла гриба шиїтаке, при цьому унікальний за своїм складом біологічно активних речовин комплекс білків, вітамінів і мінеральних речовин гриба втрачається.

В ІТТФ НАН України запропоновано нанотехнологічний метод обробки плодового тіла гриба шиїтаке або його шапинок на стадії підготовки до розпилювального сушіння. Зокрема, в процесі гомогенізації досягається гідромеханічна деструкція високоміцних хітин-глюканових структур з отриманням високого ступеня дисперсності часточок нерозчинних фракцій у грибній суспензії, що має покращувати її текучі властивості. Проте при ДІВЕ-обробці плодового тіла шиїтаке утворюються стійкі високів'язкі гетерогенні колоїдні системи, які навіть при розведенні водою залишаються не текучими і не можуть подаватись в сушарку, що вимагає вивчення природи цих явищ.

Проведено дослідження мікроструктури дисперсних часток грибної суспензії, отриманої за різних технологічних умов ДІВЕ-обробки плодового тіла гриба шиїтаке на стадії підготовки до розпилювального сушіння.

Мікроструктурний аналіз показав, що ніжки та шапинки гриба шиїтаке відрізняються за будовою та структурою, що визначає їх міцнісні властивості й ефективність процесів диспергування та гомогенізації. Так, у суспензії з плодового тіла гриба відбувається агрегування доволі розвинутих структур гіфів, що погіршує умови її розпилювального сушіння.

Суспензії з шапинок гриба мали кращі в'язкісні характеристики, а введення лише 5% β -циклодекстрину сприяло зниженню їх в'язкості на 25—35%. При розпилювальному сушінні такої грибної суспензії було досягнуто збільшення вдвічі виходу порошку з сушильної камери, покращення його якості і подовження терміну його зберігання до 1 року.

Ключові слова: *гриб шиїтаке, диспергування, гомогенізація, суспензія, мікроструктурний аналіз.*

Постановка проблеми. В технологіях розпилювального сушіння продуктів рослинного походження велике значення має стадія підготовки їх до сушіння, яка передбачає подрібнення і гомогенізацію вихідного матеріалу з отриманням достатньо текучої суспензії. Досягти цього не так просто, оскільки після диспергування і гомогенізації рослинної сировини утворюються переважно нетекучі желеподібні гетерогенні системи.

Збільшення тривалості гомогенізації або термічна обробка, як показано в [1—3], не завжди покращують текучі властивості цих систем. Більш того, деякі

з рослинних матеріалів одразу після гомогенізації або через деякий час (10... 30 хв) після гомогенізації, переходять у стан нетекучого гелю. Це обумовлено вилученням із зруйнованих структурних систем клітковини та волокон і переходом у розчинений стан таких речовин, як пектини, білки та полісахариди.

Рідинні системи із складними реологічними властивостями, в яких висока в'язкість обумовлена, зокрема, неоднорідністю гетерогенної системи через полідисперсність часток нерозчинних фракцій не можуть подаватись на розпилювальний диск сушильної установки, оскільки при формуванні краплі в момент відриву її від кромки дискового розпилювача не забезпечується її сферичність, а у факелі розпилу — однорідність дисперсного складу крапель. У таких випадках через нерівномірність висушування крапель полідисперсного складу в об'ємі камери відбувається утворення шару сухого або вологого продукту на стінках камери розпилювальної сушарки, що ускладнює її роботу. Якщо сухий порошок можна видалити зі стінок простукуванням або періодичним змітанням при короткочасних зупинках роботи сушарки, як це робиться на виробництві сухого молока або концентрату сироваткового білка, то видалення вологого продукту вимагає зупинки всієї лінії сушильного виробництва для очищення і миття камери, що призводить до матеріальних збитків.

Покращення текучості гетерогенних систем із фруктово-овочевої та плодово-ягідної сировини, як показано в [4], досягається лише при введенні декстринвмісної структуруючої добавки (патоки, мальтодекстрину) на перших хвилинах гомогенізації, що забезпечує обволікання шаром розчинених полісахаридів часточок в процесі їх утворення при руйнуванні волокон та клітковини. Такий обволікаючий шар між часточками в об'ємі гетерогенної системи виконує декілька важливих функцій, що позитивно впливають як на структурно-механічні та фізико-хімічні характеристики вихідної гетерогенної системи, так і на процеси тепломасопереносу при сушінні та якість порошкового продукту:

- амортизатора — запобіжника від зчеплення часток і утворення агломератів,
- консервуючого засобу — стабілізатора показників кислотності, що запобігає розвитку окислювальних реакцій на поверхні утворених дисперсних часток з відкритими зв'язками,
- засобу мікрокапсулювання термо- та ксеролабільних складових рослинної сировини та її біологічно активних речовин при розпилювальному сушінні.

Авторами [4] встановлено, що для забезпечення високого виходу порошку з сушильної камери та зниження його кінцевої вологості до 3—4% максимальні розміри часток нерозчинних фракцій у фруктово-овочевих та плодово-ягідних суспензіях, що подавались в дискову розпилювальну сушарку РЦ-1,3, не перебільшували 100—150 мкм.

Гриб шийтаке (рис. 1а) відноситься до вищих базидіальних грибів, які в сучасних галузях медицини та біотехнології вивчаються й використовуються як продуценти у біологічно активних речовин для виробництва функціональних продуктів [5].

Сам гриб побудований з гіфів (рис. 1), які являють собою лінійні або розгалужені волокна циліндричної форми з гладкою поверхнею діаметром 3—5 мкм і

завдовжки до декількох (≥ 3 —5) міліметрів. За [5] гіфи мають порожнисту мікрофібрилярну будову клітинної стінки з її товщиною від 0,2 до 1 мкм і містять до 95% полісахаридів.

Джерелом імунорегулюючих та онкостатичних метаболітів гриба шийтаке є водорозчинний комплекс полісахаридів, який міститься у хітин-глюканових структурах клітин. Висока міцність хітинової оболонки гіфів гриба з одного боку, і маннопротейнової — з другого, обумовлює високу стійкість цих структур до механічного руйнування і знижує доступність комплексу лікувальних полісахаридів [5]. Тобто при вживанні гриба у вигляді кріопорошків його лікувальний комплекс полісахаридів залишається мало доступним через неможливість вилучення його під дією кислот та ферментів у шлунково-кишковому тракті.

Високоякісні препарати імуномодуючої та протипухлинної дії провідних фармацевтичних корпорацій Японії та Китаю виробляють шляхом виділення окремих фракцій або хімічної модифікації полісахаридів гриба шийтаке шляхом розщеплення молекул і їх активзації [5]. При цьому унікальний за своїм складом природний біологічно активний комплекс грибів — білків, вітамінів та мінеральних речовин, втрачається.

В ІТТФ НАН України запропоновано нанотехнологічний метод обробки плодового тіла гриба шийтаке або його шапинок перед розпилювальним сушінням, в якому в процесі гомогенізації досягається гідромеханічна деструкція хітин-глюканових структур з отриманням високого ступеня дисперсності часточок нерозчинних фракцій у грибній суспензії, що має покращувати її текучі властивості. Проте при підготовці грибної суспензії з плодового тіла шийтаке до розпилювального сушіння слід враховувати, що при високому вмісті полісахаридів (78% від вмісту с. р.) і наявності білків (17,5% від вмісту с. р.) за наявності води (90% від маси гриба) утворюються стійкі високов'язкі колоїдні рідинні системи [5], розведення яких водою з різним гідромодулем майже не впливає на текучість системи, що вимагає вивчення природи цих явищ.

Мета статті полягала у проведенні досліджень мікроструктури дисперсних часток грибної суспензії, отриманої за різних технологічних умов ДІВЕ-обробки плодового тіла гриба шийтаке на стадії підготовки до розпилювального сушіння.

Викладення основних результатів дослідження. При проведенні експериментальних досліджень з використанням механізмів дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ) були досліджені дисперсні часточки нерозчинних фракцій суспензій як з плодового тіла гриба, так і його окремих частин.

Мікроструктурний аналіз дисперсного складу часток нерозчинних фракцій грибної суспензії, отриманої з плодового тіла гриба шийтаке, який проводився на електронному мікроскопі «Axio Imager» німецької фірми Carl Zeiss, дав змогу визначити форму та розміри дисперсних часток з різних частин гриба й особливості їх агрегування, що визначає їхні текучі властивості. Дослідження показали, що наявність в грибній суспензії часточок різної форми, структури та розмірів обумовлює погіршення структурно-механічних властивостей даної системи.

На рис. 1 наведено фотографії гіфів та їх пучків, що утворюються після першого проходу подрібненого плодового тіла гриба шиїтаке через роторно-пульсаційний апарат на стадії його підготовки до розпилювального сушіння.

Проведений нами мікроструктурний аналіз дисперсних часток грибної суспензії з плодового тіла гриба шиїтаке дав змогу встановити нові дані стосовно параметрів та будови гіфів. Як виявилось, гіфи мають циліндричну форму різного діаметра вздовж усієї їх довжини, який коливається в межах 1...13 мкм, про що свідчать наведені на рис. 1 фотографії гіфів із збільшенням 1600х. На зрізах гіфів видно, що вони щільно заповнені дрібнозернистою губчастою структурою, завдяки чому проявляються пружність, гнучкість і стійкість під час механічних навантажень. Отримані результати свідчать, що довжина фрагментів гіфів у десятки і навіть тисячу разів перевищує їхній діаметр і становить 50...5000 мкм.

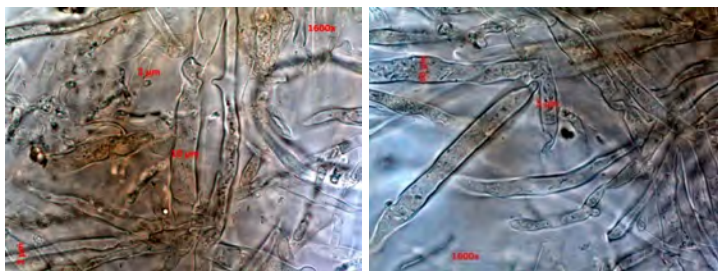


Рис. 1. Мікроструктура окремих гіфів та їх пучків у суспензії, отриманій при ДІВЕ-обробці плодового тіла гриба шиїтаке, збільшення: 1600х

Ніжки та шапинки гриба шиїтаке відрізняються за будовою та структурою (рис. 2), що визначає їх структурно-механічні властивості і, як виявилось, ефективність процесів диспергування та гомогенізації.

У процесі досліджень було виявлено характерну особливість грибної суспензії: незалежно від технологічних режимів ДІВЕ-обробки гетерогенна система проявляє схильність до самоорганізації фрагментів гіфів та їх скупчень в агрегати. Стикаючись своїми кінцями, частки гіфів та їх агрегати створюють в об'ємі гетерогенної системи нерівномірні просторові сітки — асоціати, розміром до 3—4 мм (рис. 3). Наявність рідинного прошарку між частками обумовлює меншу міцність структури, проте надає їй пластичності. Це погіршує структурно-механічні властивості грибної суспензії і вимагає її додаткової гомогенізації безпосередньо перед подачею в сушарку.

Сушіння грибної суспензії, що містить такі крупні агреговані включення (рис. 3), недоцільне через утворення у факелі розпилу крапель полідисперсного складу, що призводить до нерівномірності їх висушування і, як показали дослідження на експериментальній розпилювальній сушарці РЦ-1,3, утворення на стінках камери пластичного шару вологого продукту. При цьому дрібнодисперсна фракція порошку, що у невеликій кількості (вихід до 35—40%) надходила до приймальної ємності під циклоном, характеризувалась більшою вологістю (≤ 8 —10%) і підвищеними гігроскопічними властивостями, що сприяло швидкому його псуванню.

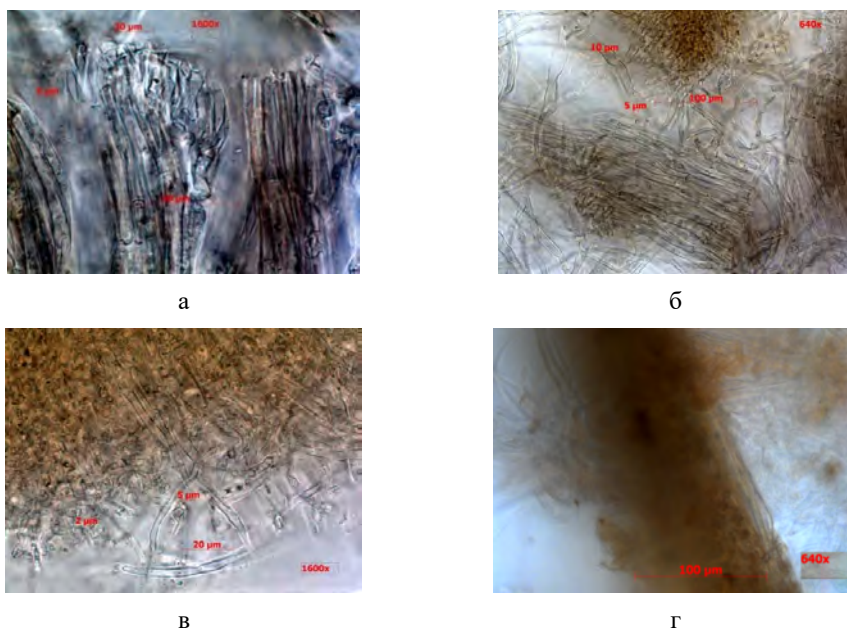


Рис. 2. Мікроструктура дисперсних частинок грибної суспензії: а) пучки гіфів тіла ніжки гриба; збільшення: 1600х; б) фрагменти гіфів плодового тіла ніжки гриба (нижня частина фото) і шапинки (у верхній частині фото; збільшення: 640х в) фрагмент тіла шапинки гриба; збільшення: 1600х; г) зріз тіла шапинки гриба; збільшення: 640х

Через складності отримання однорідної за дисперсним складом суспензії з цілісного плодового тіла гриба проведена серія дослідів виключно з шапинками гриба шиїтаке. Дослідження показали, що при диспергуванні і гомогенізації шапинок гриба шиїтаке ступінь дисперсності частинок нерозчинних фракцій у грибній суспензії підвищується і, відповідно, покращуються її структурно-механічні характеристики, що відбувається за рахунок меншого у 1,5 раза вмісту хітину у шапинках. Розміри частинок в суспензії на 80% від основної маси дисперсної фази складали від 10 до 150—180 мкм, а максимальні розміри окремих часточок — ≤ 200 —250 мкм (рис. 4). Підвищення ступеня дисперсності частинок грибної суспензії сприяло незначному зниженню її в'язкості.

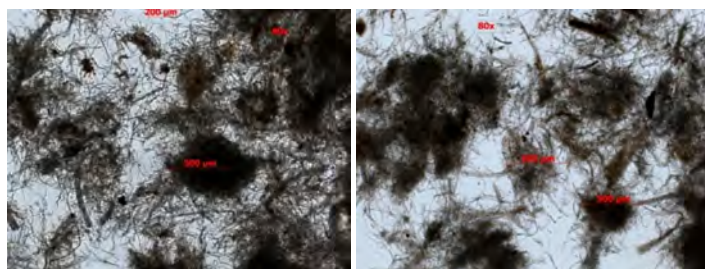


Рис. 3а. Мікроструктура грибної суспензії, отриманої в результаті ДІВЕ-обробки плодового тіла гриба шиїтаке, збільшення 80х

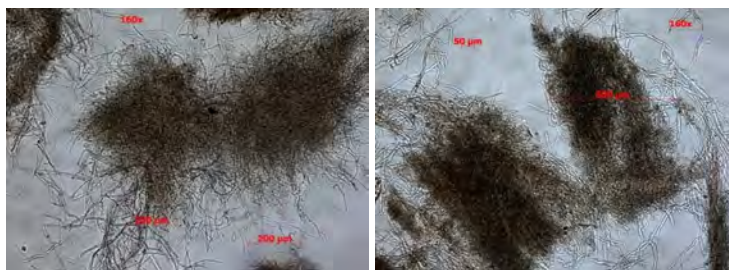


Рис. 3б. Мікроструктура грибної суспензії, отриманої в результаті ДІВЕ-обробки плодового тіла гриба шиїтаке, збільшення: 160х

Для покращення в'язкісних властивостей грибної суспензії було апробовано використання структуруючої добавки — β -циклодекстрину. Проведені дослідження показали доцільність введення даної декстринвмісної структуруючої добавки, що сприяло покращенню текучих властивостей грибної суспензії з гідромодулем 1,5. При введенні лише 5% масової частки β -циклодекстрину в'язкість грибної суспензії з температурою 80°C знижувалась на 25—35%, якщо порівняти з контрольним зразком, і становила 0,6... 0,8 Па · с [6].

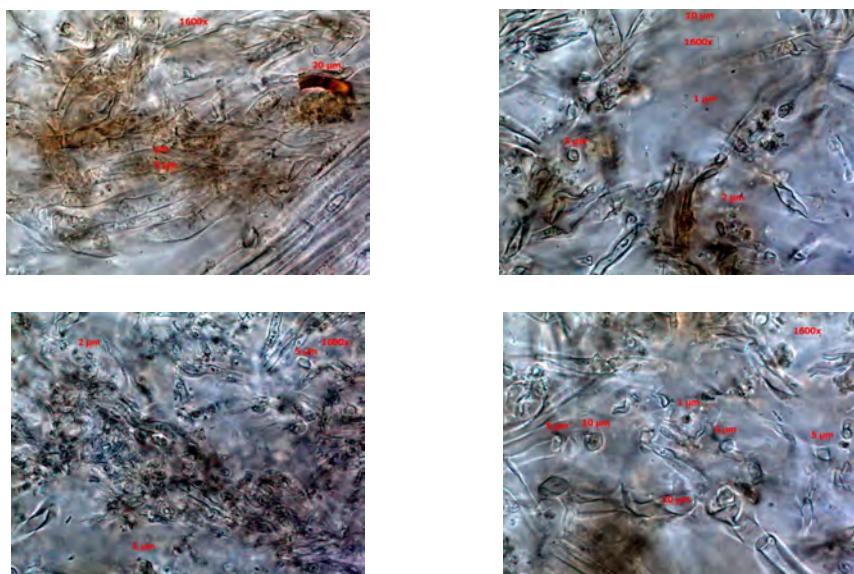


Рис. 4. Мікроструктура грибної суспензії після трьох проходів шапинок гриба шиїтаке через роторно-пульсаційний апарат, збільшення: 1600х

Крім того, введення декстринвмісної добавки сприяло мікрокапсулюванню термолабільних структурних елементів гриба при розпилювальному сушінні, а підвищення при цьому термостійкості матеріалу дало змогу підвищити температурні режими сушіння і таким чином забезпечити скорочення часу сушіння за умов збереження біологічно активних складових гриба.

Подача такого продукту на дисковий розпилювач сушарки здійснювалася за допомогою плунжерного насосу. Вихід порошку з розпилювальної сушарки збільшився до 85—90%. Отриманий дрібнодисперсний порошок був сипким і однорідним, у герметично запакованій скляній тарі його структурно-механічні й органолептичні властивості залишалися незмінними протягом 1 року.

Висновки

Проведені дослідження дали змогу охарактеризувати особливості мікроструктури грибної суспензії, отриманої при ДІВЕ-обробці плодового тіла гриба шийтаке на стадії підготовки до розпилювального сушіння. Показано, що структура дисперсних часток гриба в суспензії представляє собою гіфи циліндричної форми різного діаметра вздовж усієї їх довжини, який коливається в межах 1...13 мкм, а їх довжина становить 50...5000 мкм.

Встановлено, що складність отримання однорідної за дисперсним складом і достатньо текучої грибної суспензії з плодового тіла гриба шийтаке пов'язана з характерним для даної гетерогенної системи процесом самоорганізації часток гіфів в агрегати розміром до 3...4 мм і підвищенням у часі її в'язкості за рахунок високого вмісту полісахаридів і білків.

Дослідження мікроструктури грибних суспензій, отриманих при ДІВЕ-обробці плодового тіла гриба шийтаке, показали, що підвищення ступеня їх дисперсності до заданого рівня досягається при застосуванні не всього плодового тіла гриба, а лише його шапинок, а введення 5% масової частки декстрин-вмісної структуруючої добавки (циклодекстрину) при температурі грибної суспензії 80°C знижує її в'язкість на 25...35%, що сприяє покращенню умов розпилювального сушіння грибної суспензії і збільшення виходу порошку удвічі.

Експериментально встановлено, що для уникнення підвищення в'язкості грибна суспензія має одразу після гомогенізації подаватись на дисковий розпилювач сушарки.

Література

1. Догадаев В.И., Тележенко Л.Н., Безусов А.Т. Использование предварительной тепловой обработки яблок для придания изготовленному из них пюре необходимых реологических свойств. *Научові праці ОНАХТ*. 2006. Вип. 28. Т.1. С. 70—72.
2. Кислая Л.В. Симахина Г.А., Голубева Л.А. и др. Влияние процессов механохимической деструкции на пектиновые вещества сочного растительного сырья. *Научные труды Украинского государственного университета пищевых технологий*. Киев, 1994. 8 с.
3. Дьяконова А.К., Безусов А.Т. Структурообразователи в производстве консервированных продуктов. Одесса: «Optimum», 2006. 249 с.
4. Долинский А.А., Малецкая К.Д. Распылительная сушка. Киев: Академперіодика, 2015. 390 с.
5. Бисько Н.А., Бабицкая В.Г., Бухало А.С. та ін. Биологические свойства лекарственных макромицетов в культуре: Сборник научных трудов в двух томах. Т.2. Под ред. чл.-кор. НАН Украины С.П. Вассера. Киев, 2012. 459 с.
6. Шаркова Н.О., Жукотський Е.К., Декуша Г.В., Костянець Л.О. Дослідження динамічної в'язкості водної суспензії плодового тіла гриба шийтаке. *Научові праці Національного університету харчових технологій*. 2017. Т. 23. № 6. С. 219—224.

DEVELOPMENT OF A NEW TYPE OF MILK-CONTAINING ICE-CREAM ENRICHED WITH BLENDED OIL

I. Ustymenko, G. Polischuk

National University of Food Technologies

Key words:

Food emulsion
Dairy fat substitutes
Blended oil
Ice cream
Milk containing product

Article history:

Received 13.11.2018
Received in revised form
29.11.2018
Accepted 18.12.2018

Corresponding author:

I. Ustymenko

E-mail:

ustymenko_igor@ukr.net

ABSTRACT

The article substantiates scientifically the recipe composition of a new type of ice cream with a combined composition of raw materials. As a fat-containing component, it is suggested to use food emulsions based on the *dairy fat substitutes* and blended oil.

The purpose of the study is to determine the possible degree of replacement of *dairy fat substitutes* for blended oil at different fatty properties of the finished product.

To solve the problem for use in the composition of ice cream combined warehouse, food emulsions with 40% fat content based on the *dairy fat substitutes* “Violia-molzhir 3” as a product of perestification, which does not contain in its composition harmful to the body trans-isomers of fatty acids and based on the blended oil (sunflower oil + olive oil at a ratio of 80:20). The composition and technology of food emulsions developed by authors make it possible to obtain a fatty normalizing component of the emulsion type with an average size of fat cells not more than 2 microns of high stickiness. The regularities of the influence of the degree of replacement of *dairy fat substitutes* on the loss of resistance, dentin resistance, the average size of air bubbles and the organoleptic parameters of experimental samples of ice cream combined fatty with 3.5 to 15% of fat.

A rational stage of substituting milk fat for oil was blended into food emulsions for: ice cream with 3.5% — 30%; ice cream with 10% — 20%; ice cream with 15% — 15%. New types of ice cream of combined content, made in accordance with scientifically-based recommendations, are characterized by high quality. On the basis of the obtained results, the basic recipes of ice cream with the combined composition of raw materials are developed.

DOI: 10.24263/2225-2924-2018-24-6-30

РОЗРОБКА НОВОГО ВИДУ МОЛОКОВМІСНОГО МОРОЗИВА, ЗБАГАЧЕНОГО КУПАЖОВАНОЮ ОЛІЄЮ

І.М. Устименко, Г.Є. Поліщук

Національний університет харчових технологій

У статті науково обґрунтовано рецептурний склад нового виду морозива з комбінованим складом сировини. Як жировмісний компонент запропоно-

вано використовувати харчові емульсії на основі замітника молочного жиру та олії купажованої.

Метою дослідження є визначення можливого ступеня заміни замітника молочного жиру на купажовану олію за різної жирності готового продукту.

Для вирішення поставленого завдання для застосування у складі морозива комбінованого складу обрано харчові емульсії жирністю 40%, що стабілізовані емульгувальним комплексом (казеїнат натрію+емульгатор «Твердий-2»), на основі замітника молочного жиру «Віолія-молжир 3» як продукту перетерифікації, що не містить у своєму складі шкідливих для організму транс-ізомерів жирних кислот, і на основі олії купажованої (соняшникова олія+оливкова олія за співвідношення 80:20). Розроблені авторами склад і технологія харчових емульсій дають змогу отримувати жировий нормалізаційний компонент емульсійного типу з середнім розміром жирових кульок не більше 2 мкм високої стійкості. Вивчено закономірності впливу ступеня заміни замітника молочного жиру на збитість, опір таненню, середній розмір повітряних бульбашок та органолептичні показники дослідних зразків морозива комбінованого складу жирністю від 3,5 до 15%.

Встановлено раціональний ступінь заміни замітника молочного жиру на олію купажовану у складі харчових емульсій для: морозива молочного жирністю 3,5% — 30%; морозива вершкового жирністю 10% — 20%; пломбіру жирністю 15% — 15%. Нові види морозива комбінованого складу, виготовлені відповідно до науково-обґрунтованих рекомендацій, відрізняються високими показниками якості. На основі отриманих результатів розроблено базові рецептури морозива з комбінованим складом сировини.

Ключові слова: харчова емульсія, замітник молочного жиру, купажована олія, морозиво, продукт молоковісний.

Постановка проблеми. В умовах економічної кризи зниження собівартості харчових продуктів є одним з найвагоміших чинників впливу на вибір підприємствами асортименту, технологій і технічного забезпечення процесу виробництва. Тому в молочній галузі стрімко розвиваються технології молоковісних продуктів. Але, зазвичай, як немолочні жирові компоненти у складі таких продуктів використовують доволі дешеві тропічні олії та замітники молочного жиру. Останні є продуктами гідрогенізації олій, що містять небезпечні для здоров'я транс-ізомери жирних кислот і характеризуються невисокою харчовою цінністю [1; 2].

У той же час сучасна структура харчування населення України характеризується такими порушеннями харчового статусу:

- дефіцитом поліненасичених жирних кислот (ПНЖК) на фоні надлишкового споживання насичених жирів за недостатнього споживання рослинних олій;
- дефіцитом білків тваринного походження.

Доведено, що використання жирів рослинного походження у складі молоковісних продуктів підвищує їхню харчову цінність [3—5]. Тому вітчизняних споживачів слід більше орієнтувати на підвищення частки у раціоні хар-

чування олій і жирів рослинного походження через їхні фізіологічні переваги і нижчу вартість порівняно з тваринними жирами.

Практика показала, що виробництво морозива з комбінованим складом сировини дає змогу розширити асортимент продукції, збалансувати її споживчу якість за вмістом ПНЖК, подовжити терміни зберігання (токофероли та фосфоліпіди, що містяться в оліях інгібують процеси окиснення жирів і попереджають появу в продукті пероксидів та вільних жирнокислотних радикалів за рахунок нижчої вартості жирового компоненту рослинного походження [6; 7].

Перевагами застосування рослинних олій та продуктів їх переробки у складі морозива є можливість поєднання фракцій жирів різного хімічного складу і властивостей для досягнення найвищої якості морозива, а також можливість виготовляти морозиво зі стабільними при зберіганні показниками якості, нейтральним смаком і запахом за відсутності шкідливих для організму людини речовин (холестерину, транс-ізомерів жирних кислот (ТЖК) та ін.) [8].

В Україні близько 60% від обсягів виробництва морозива виготовляють із застосуванням рослинних олій і продуктів їх переробки з частковою або повною заміною молочного жиру. Для жирів, температура плавлення (Тпл) яких наближена до Тпл молочного жиру, заміна останнього може бути повною [9].

У той же час деякі олії можуть надавати морозиву специфічний присмак і запах. Немолочні жири та продукти їх переробки, зокрема ЗМЖ, також не забезпечують організм людини ПНЖК омега-3 і омега-6 за рекомендованого співвідношення та у достатній кількості. У виробництві морозива комбінованого широко застосовують тропічні олії та жири, які характеризуються гарними пластичними властивостями й органолептичними показниками, але можуть бути джерелом шкідливих для здоров'я транс-ізомерів жирних кислот. У той же час, готовий продукт має незбалансований жирнокислотний склад [10; 11].

Відповідно до рекомендацій Типової технологічної інструкції ТТІ 31748658-1-2007 до ДСТУ 4733:2007, 4734:2007, 4735:2007 з виробництва морозива, у тому числі комбінованого складу, під час технологічного процесу спочатку отримують грубодисперсні емульсії внесенням жирів рослинного походження до складу сумішей за постійного перемішування. В подальшому їх гомогенізують за режимами залежно від обраної схеми диспергування (одноступенева або двоступенева гомогенізація).

У той же час жирова фаза морозива повинна ефективно кристалізуватися за низьких температур під час фризирования і подальшого загартування, що обумовлює формування кремоподібної структурованої консистенції та високий опір таненню. Тому надлишковий вміст рідких олій у морозиві знижує споживчі властивості морозива та погіршує його структуру.

Для забезпечення часткового агрегування жирових кульок у процесі фризирования, що є бажаним ефектом для досягнення сухості поверхні готового продукту, дуже важливим є проміжне співвідношення між рідкою і твердою жировою фазами під час фризирования. Якщо у жировій фазі суміші для виробництва морозива дуже багато рідкого жиру, то він у процесі фризирования переміщується на поверхню повітряних кульок і руйнує їх.

R.T. Marshall (стверджує, що вміст кристалічного жиру за температури 4—5°C має становити від половини до 2/3 загального вмісту жиру [12].

Оскільки кристалізація жиру відбувається в три етапи (переохолодження жиру, утворення зародків кристалів, зростання кристалів), для жирової фази, диспергованої у вигляді емульсії, кожна краплинка жиру має кристалізуватися незалежно від інших. Тому у жировій кульці обов'язково мають міститися центри кристалізації, що не завжди забезпечується і призводить до надлишкового переохолодження жировмісних сумішей та відповідних перевитрат холоду. Для запобігання цьому процесу рідкі олії гідрогенізують, що призводить до внесення до складу морозива разом із гідрогенованим жиром транс-ізомерів жирних кислот. Але за умови застосування високоплавких замінників молочного жиру цілком можливо їх частково замінювати на біологічно повноцінні і дешеві рідкі олії вітчизняного виробництва.

Метою дослідження є визначення раціонального ступеня заміни жиру на купажану рідку олію за різної жирності готового продукту.

Матеріали і методи. Для вирішення поставленого завдання як жирову фазу для морозива комбінованого складу обрано розроблені авторами харчові емульсії жирністю 40%, стабілізовані емульгувальним комплексом «казеїнат натрію + емульгатор Т-2». Застосування нормалізаційних харчових емульсій дасть змогу виключити з технологічної схеми технологічну операцію «гомогенізація суміші» та скоротити тривалість технологічного процесу [13].

Як жирову фазу емульсій використовували замінник молочного жиру (ЗМЖ) «Віолія-молжир 3» як продукт перетерифікації, що не містить у своєму складі ТІЖК, та олію купажану, збалансовану за жирнокислотним складом (соняшникова олія+оливкова олія за співвідношення 80:20).

Для складання дослідних зразків використовували сировину згідно з ДСТУ 4733:2007 «Морозиво молочне, вершкове, пломбір. Загальні технічні вимоги.

У дослідних зразках морозива визначали опір таненню, збитість і середній розмір повітряних бульбашок у морозиві за ступеня заміни ЗМЖ на купажану олію у межах від 10 до 35%. Обраний діапазон ступеня заміни твердоподібного жиру на рідкі олії включав рекомендовану кількість — від 20 до 30% [14].

Жирність зразків морозива комбінованого складу складала 3,5, 10 та 15%, що відповідає жирності морозива класичних видів. За контроль обрано морозиво з вказаним вмістом жиру на основі ЗМЖ «Віолія-молжир 3».

М'яке морозиво з комбінованим складом сировини виготовляли із застосуванням фризера для виробництва морозива марки ФПМ-3,5/380-50 «Ельбрус-400» ТУ У.14086152.081-97. Виробник — АТ «РОСС», м. Харків, Україна.

Мікроструктурний аналіз зразків проводили з використанням світлового мікроскопу XS-2610 та цифрової фотокамери Canon S3. Розміри жирових кульок визначали мікроскопічним методом за збільшення не менше ніж у 400...600 разів (10x40 або 15x40) з подальшим математичним обробленням результатів вимірювання [15].

Збитість м'якого морозива визначали ваговим методом [16].

Опір таненню морозива визначали за часом витікання зі зразка морозива діаметром 35 мм та висотою 50 мм 10 см³ рідкої суміші (у хв), що утворювалася внаслідок розплавлення морозива у термостаті при температурі 25°C [17].

Органолептичну оцінку зразків морозива проводили за 10-бальною системою з прийнятим розподілом значимості його окремих показників: смак, запах та аромат — 6 балів, структура та консистенція — 3 балів, колір і зовнішній вигляд — 1 бал.

Результати і обговорення. Результати дослідження впливу ступеня заміни ЗМЖ на опір таненню, збитості, середній розмір повітряних бульбашок наведено у табл. 1—3. Темним тлом у таблицях виокремлені значення, які не відповідають існуючим вимогам до фізико-хімічних показників морозива гарантованої якості, відповідно до яких опір таненню має бути не нижчим за 41 хв для морозива всіх видів, середній розмір повітряних бульбашок має бути не більшим за 60 мкм, а збитість повинна бути не нижчою за 60% для жирності 3,5% і не нижчою за 80% — для морозива 10% і 15% жирності [17].

Таблиця 1. Опір таненню (хв) зразків морозива з комбінованим складом сировини з різним ступенем заміни ЗМЖ на олію купажану ($P \geq 0,95$; $n = 3$)

Досліджувані зразки	Ступінь заміни ЗМЖ на олію купажану, % від загального вмісту жиру, %						
	0	10	15	20	25	30	35
Морозиво з м.ч.ж. 3,5 %	43,9±1,7	43,6±1,1	42,6±2,0	42,0±1,3	41,5±0,9	41,4±1,5	34,2±1,6
Морозиво з м.ч.ж. 10 %	49,4±2,0	48,1±1,5	44,2±1,4	41,8±1,7	40,0±1,4	35,1±0,9	30,1±1,1
Морозиво з м.ч.ж. 15 %	53,0±2,5	49,6±2,0	45,1±2,1	40,7±1,5	38,2±1,1	34,9±1,0	32,0±1,2

Таблиця 2. Збитість (%) зразків морозива з комбінованим складом сировини з різним ступенем заміни ЗМЖ на олію купажану ($P \geq 0,95$; $n = 3$)

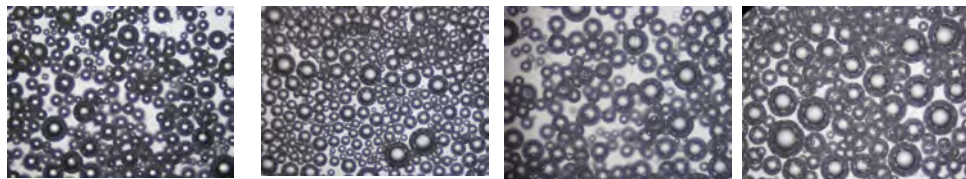
Досліджувані зразки	Ступінь заміни ЗМЖ на олію купажану, % від загального вмісту жиру, %						
	0	10	15	20	25	30	35
Морозиво з м.ч.ж. 3,5 %	85,3±3,0	82,8±2,1	80,2±2,0	75,9±3,5	61,3±2,7	58,2±1,7	55,2±2,2
Морозиво з м.ч.ж. 10 %	89,1±3,6	85,8±3,1	83,8±2,0	80,4±3,3	74,8±1,9	69,9±2,4	57,0±1,4
Морозиво з м.ч.ж. 15 %	96,4±4,2	90,9±3,9	85,1±2,7	79,6±2,5	76,0±3,0	70,8±3,1	61,0±2,4

Таблиця 3. Середній розмір повітряних бульбашок (мкм) зразків морозива з комбінованим складом сировини з різним ступенем заміни ЗМЖ на олію купажану ($P \geq 0,95$; $n = 3$)

Досліджувані зразки	Ступінь заміни ЗМЖ на олію купажану, % від загального вмісту жиру, %						
	0	10	15	20	25	30	35
Морозиво з м.ч.ж. 3,5 %	38,1±1,1	40,8±1,6	48,2±1,5	50,0±2,1	55,3±2,4	59,2±2,0	75,0±2,9
Морозиво з м.ч.ж. 10 %	35,1±1,0	38,8±1,4	42,8±1,6	45,4±1,2	55,4±1,9	62,9±2,8	67,0±2,1
Морозиво з м.ч.ж. 15 %	34,4±1,2	40,9±1,2	55,1±1,9	61,5±2,4	66,0±2,2	71,8±3,0	72,1±2,4

Мікроструктуру морозива на прикладі систем зі ступенем заміни ЗМЖ на купажовану олію 15, 25 і 35%, порівняно з морозивом комбінованого складу жирністю 3,5% (контроль1), 10% (контроль 2) і 15% (контроль 3), наведено на рис. 1.

Морозиво з м.ч.ж. 3,5 % (молочного типу)



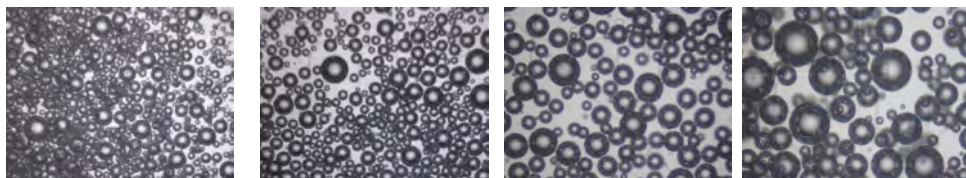
Контроль 1

15 % заміни

25 % заміни

35 % заміни

Морозиво з м.ч.ж. 10 % (вершкового типу)



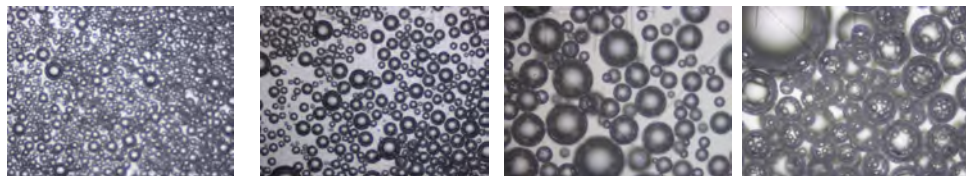
Контроль 2

15 % заміни

25 % заміни

35 % заміни

Морозиво з м.ч.ж. 15 % (пломбірного типу)



Контроль 3

15 % заміни

25 % заміни

35 % заміни

**Рис. 1. Мікроструктура зразків морозива з різним складом жирової фази
за збільшення 10x15**

З рис. 1 видно, що, незважаючи на початковий, значно вищий ступінь дисперсності повітряної фази у морозиві з масовою часткою жиру 15%, саме для цього виду спостерігається найбільший негативний вплив рідких олій на мікроструктуру готового продукту. Цей ефект можна пояснити більшим вмістом рідких олій у готовому продукті, які спричиняють коалесценцію (злиття) повітряних бульбашок з подальшим руйнуванням.

Отже, відповідно до результатів дослідження, наведених у табл. 1—3 та на рис. 1, досягнення рекомендованих значень опору таненню, дисперсності повітряної фази і збитості задовольняє заміна до 30% ЗМЖ на рідкі олії для морозива жирністю 3,5%, до 20% — для морозива жирністю 10% і до 15% — для морозива жирністю 15%.

На наступному етапі наукового дослідження проведено органолептичну оцінку дослідних зразків морозива з комбінованим складом сировини з різним ступенем заміни ЗМЖ на олію купажовану. Органолептичні показники морозива з комбінованим складом сировини та їх бальну оцінку представлено у табл. 4.

Таблиця 4. Органолептичні показники морозива з комбінованим складом сировини з різним ступенем заміни ЗМЖ на олію купажану

Масова частка жиру у зразку, %	Ступінь заміни ЗМЖ на олію купажовану, % від загального вмісту жиру						
	0	10	15	20	25	30	35
Смак і запах (максимальна кількість 6 балів)							
3,5	Характерні для морозива цієї групи, приємні, без сторонніх присмаків і запахів						
Кількість балів	6						
10,0	Характерні для морозива цієї групи, приємні, без сторонніх присмаків і запахів						Легкий присмак купажу
Кількість балів	6						5
15,0	Характерні для морозива цієї групи, приємні, без сторонніх присмаків і запахів			Легкий присмак купажу			Виражений присмак купажу
Кількість балів	6			5			3
Структура і консистенція (масимальна кількість 3 бали)							
3,5	Однорідна, слабо сніжиста консистенція.			Однорідна, помірно густа			Однорідна, дещо рідка
Кількість балів	2,5						2
10,0	Однорідна, кремоподібна		Однорідна, достатньо густа		Однорідна, дещо рідка		
Кількість балів	3		2,5		2		
15,0	Однорідна, достатньо густа			Однорідна, дещо рідка		Неоднорідна, нестійка	
Кількість балів	3			2,5		2	
Колір, зовнішній вигляд (масимальна кількість 1 бал)							
3,5	Біло-молочний, рівномірний за всією масою, поверхня суха			Біло-молочний, рівномірний за всією масою, поверхня помірно блискуча			
Кількість балів	1			0,5			
10,0	Біло-кремовий, рівномірний за всією масою, поверхня суха				Біло-кремовий, з жовтуватим відтінком, поверхня блискуча		
Кількість балів	1				0,5		
15,0	Біло-кремовий, рівномірний за всією масою, поверхня суха			Кремово-жовтуватий, рівномірний за всією масою, поверхня дуже блискуча			
Кількість балів	1			0,5			

Результати органолептичної оцінки зразків морозива з комбінованим складом сировини та різним ступенем заміни ЗМЖ підтвердили встановлений за фізико-хімічними показниками раціональний вміст рідких олій для морозива з різним вмістом жиру. На основі отриманих результатів розроблено базові рецептури морозива з комбінованим складом сировини з використанням жирового концентрату на основі ЗМЖ та олій купажованої.

Перспективи подальших досліджень полягають у вивченні можливостей введення до базових рецептур натуральних гомогенних і гетерогенних смако-ароматичних інгредієнтів, що дасть змогу розширити асортиментний ряд біологічно повноцінної продукції.

Висновки

Науково підтверджено можливість збагачення морозива з комбінованим складом сировини біологічно повноцінною купажованою олією у вигляді хар-

чової емульсії, стабілізованої комплексом емульгаторів «казеїнат натрію+емульгатор Т-2».

Експериментально обґрунтовано максимально можливий ступінь заміни замінильника молочного жиру на олію купажану у складі морозива жирністю від 3,5 до 15,0% та встановлено зворотну залежність між раціональним ступенем заміни замінильника молочного жиру на купажану рідку олію (від 15 до 30%) та жирністю морозива, що забезпечує високу збитість морозива та стійкість утвореної пінної структури.

На основі отриманих результатів розроблено базові рецептури нового виду морозива з комбінованим складом сировини.

Література

1. Шубравська О.В., Сокольська Т.В. Розвиток ринку молока і молочної продукції: світові тенденції і вітчизняні перспективи. *Економіка і прогнозування*. 2010. № 2. С. 80—93.
2. Грек О.В., Лихолат О.С. Аспекти ресурсозбереження в молочній галузі. *Молокопереробка*. 2012. № 5(80). С. 20—23.
3. Harris W.S. The omega-3 index as a risk factor for coronary heart disease. *Am. J. Clin. Nutr.* 2008. № 87. Р. 1997—2002.
4. Корецький В.Л., Орлова Н.М. До проблеми безпеки харчування та моніторингу якості життя населення України. *Проблеми харчування*. 2006. № 1. С. 42—44.
5. Gibson G.R., Williams C.M. Functional food: concept to product. CRC Press, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, England. 2000. 356 p.
6. Грек О.В., Осьмак Т.Г. Інноваційні розробки в молочній галузі. *Молочная индустрия*. 2013. № 2. С. 42—43.
7. Патент України на корисну модель № 24569, A23G9/00. Морозиво комбіноване / Л.М. Хомічак, Т.А. Скорченко, Г.Є. Поліщук, Т.Г. Федченко. и 200700239; заявл. 10.01.2007; опубл. 10.07.2007, Бюл. № 10.
8. Двинский Б.М. Пищевые ингредиенты, добавки и пряности. *Молочная промышленность*. 2008. № 3. С. 85—89.
9. Granger C. Leger A., Barey P., Langendorff V., Cansell M. Influence of formulation on the structural networks in ice cream. *Int. Dairy J.* 2005. No. 15. С. 255—262.
10. Hu F.B., Stampfer M.J., Manson J.E., Rimm E., Colditz G.A., Rosner B.A., Hennekens C.H. & Willett W.C. Dietary fat intake and the risk of coronary heart disease in women. *New England Journal of Medicine*. 1997. 337(2). Р. 1491—1502.
11. Патент 92092 UA, МПК A23G 9/04 (2009) A23G 9/32 (2009) Склад морозива з комбінованим складом сировини / Поліщук Г.Є., Кочубей-Литвиненко О.В., Згурський А.В.; заявник Національний університет харчових технологій. № а 200901157; заявл. 13.02.2009; опубл. 27.09.2010, Бюл. № 18
12. Marshall R.T., Goff H.D., Hartel R.W. Ice Cream, 6th Edn. New York: Kluwer Academic. ISBN 0-306-47700-9. 2003. 366 p.
13. Научное обоснование состава эмульсий для нормализации белково-жировых продуктов / Г. Поліщук, Г. Сімахіна, І. Устименко та ін. *Maisto chemija ir technologija*. 2016. № 1. С. 45—55.
14. Clarke C. The Science of Ice Cream. The Royal Society of Chemistry: Cambridge, UK, 2004. 241 p.
15. Vega C., Dalgleish D.G., Goff H.D. Effect of κ-Carrageenan Addition to Dairy Emulsions Containing Sodium Caseinate and Locust Bean Gum. *Food Hydrocolloids*. 2005. Vol. 19, No. 2. Р. 187—195.
16. Маршал Р.Т., Гофф Г.Д. Мороженое и замороженные десерты; перев. с англ. под ред. В.И. Василевського. СПб.: Професия, 2005. 376 с.
17. Оленев Ю.А., Творогова А.А., Казакова Н.В., Соловьева Л.Н. Справочник по производству мороженого. Москва: ДеЛи Принт, 2004. 798 с.

Зміст журналу
«Наукові праці Національного університету харчових технологій»
за 2018 рік

Автоматизація та інформаційні технології

- Маковецька С.В., М'якишко О.М.* Формування розкладу поставок сировини на цукровий завод із застосуванням генетичних алгоритмів № 1
- Брацький В.О.* Дослідження та розробка методу обробки log-файлів у розподіленій інформаційній системі з використанням нереляційної бази даних MongoDB № 1
- Лобок О.П., Гончаренко Б.М., Савицька Н.М., Віхрова Л.Г.* Визначення d -області стійкості дробових лінійних динамічних систем № 2
- Бойко Р.О., Власенко Л.О., Гладка М.В.* Інформаційні технології комплексування методів керування організаційно-технічними (технологічними) системами № 2
- Брацький В.О., М'якишко О.М.* Порівняння методу обробки та аналізу log-файлів у форматі JSON з існуючими рішеннями № 3
- Лобок О.П., Гончаренко Б.М., Сич М.А.* Застосування лінійних матричних нерівностей при синтезі модального керування багатомірними лінійними системами № 3
- Ришан О.Й., Тихонов О.Ю.* Розробка способу розширення діапазону і підвищення точності вимірювань при ультразвуковому тіньовому методі контролю ширини стрічки в повітрі № 3
- Чаплінський Ю.П.* Одна реалізація знанне-орієнтованої інформаційної системи з безпеки продуктів харчування № 4
- Лобок О.П., Савицька Н.М., Гончаренко Б.М., Сич М.А.* Задача оптимального мінімаксного граничного керування об'єктами з розподіленими параметрами № 4
- Міркевич Р.М., Пупена О.М.* Оперативно-календарне планування як основа ефективної діяльності сучасних молочних підприємств № 4
- Чаплінський Ю.П.* Сучасна роль контексту при прийнятті рішень № 6
- Луцька Н.М.* Енергоефективність робастно-оптимальних систем керування технологічними об'єктами № 6
- Безуглов А.О., Ладанюк А.П.* Інформаційне забезпечення системи керування буряко-переробним відділенням цукрового заводу № 6

Біотехнологія і мікробіологія

- Берегова Х.А., Сидор І.В., Никитюк Л.В., Пирог Т.П.* Порівняльна характеристика поверхнево-активних речовин *Nocardia vaccinii* IMB В-7405 і препарату фітолавін як засобів від бактеріозів № 2
- Скроцький С.О.* Органовмісні відходи виробництва як субстрати для біосинтезу бутанолу бактеріями роду *Clostridium* № 2
- Пирог Т.П., Гершман А.Ю., Пенчук Ю.М.* Інтенсифікація синтезу практично важливих мікробних метаболітів на суміші субстратів № 4
- Шаповалов Є.Б., Салюк А.І., Котинський А.В.* Дослідження стабільності метаногенезу курячого посліду у твердофазових умовах № 4
- Юкало В.Г., Сторож Л.А., Карпик Г.В.* Молекулярно-масовий розподіл казеїнових фосфопептидів № 5
- Данилюкович А.Г., Лицук В.І., Охмат О.А.* Біотехнологічні процеси в технології формування шкіряних матеріалів № 5
- Швець В.В., Карпенко О.В., Лубенець В.І., Новіков В.П.* Особливості використання композицій на основі продуктів біотехнології для укорінення живців туї західної № 5
- Головко М.П., Головка Т.М., Геліх А.О.* Дослідження акумуляції важких металів у м'якому тілі прісноводних моллюсків роду *Anodonta* № 5
- Андрєєва О.А., Майстренко Л.А., Ніконова А.В.* Дослідження структури та властивостей біотехнологічного колагенвмісного препарату № 5
- Кондрашевська К.Р., Ключка І.В., Пирог Т.П., Пенчук Ю.М.* Розмаїття мікробних вторинних метаболітів № 5
- Шаповалов Є.Б., Шаповалов В.Б., Салавор О.М., Якименко І.Л.* Порівняння нормативної бази ЄС та України щодо виробництва біогазу з органічних відходів № 5
- Данилюкович А.Г., Білінський С.О.* Інноваційні технології виробництва еластичних шкіряних матеріалів № 6
- Ребрикова П.А., Шидловська О.А., Жолобак Н.М., Мокроусова О.Р.* Біотехнологічні аспекти очищення стічних вод підприємств, що переробляють продукти тваринництва № 6

<i>Пирог Т.П., Никитюк Л.В., Кондрашевська К.Р., Ключка І.В.</i> Руїнування біоплівки за дії поверхнево-активних речовин, синтезованих <i>Nocardia vacciniі</i> ІМВ В-7405 на відходах виробництва біодизелю	№ 6
<i>Охмат О.А., Мокроусова О.Р., Майстренко Л.А.</i> Білкові трансформації у біополімерах тваринного походження	№ 6
<i>Шапалов Є.Б., Жадан С.О., Салюк А.І., Котинський А.В.</i> Регулювання концентрації амонійного азоту при метановій ферментації курячого посліду в умовах рециркуляції рідкої фази	№ 6

Економіка і соціальний розвиток

<i>Губа М.І., Барсук Ю.В.</i> Трансформація земельних відносин у контексті формування і реалізації державної аграрної політики	№ 1
<i>Ткачук С.В., Стахурська С.А., Стахурський В.О.</i> Маркетинг освітніх послуг: проблеми та перспективи	№ 1
<i>Страшинська Л.В.</i> Продовольча безпека України: проблеми та напрями забезпечення	№ 1
<i>Пестухова О.М., Коняга А.В.</i> Підвищення конкурентоспроможності продукції підприємств агропродовольчої сфери	№ 1
<i>Безпалько О.В., Бєлова Т.Г.</i> Методичні аспекти оцінки вартості знака для товарів і послуг як інтелектуального капіталу інноваційної економіки	№ 1
<i>Труш Ю.Л.</i> Чинники впливу на якість хлібобулочної продукції	№ 1
<i>Головань О.О., Олійник О.М., Сербінченко К.Г., Олійник М.О.</i> Особливості мікросегментації вітчизняного ринку кави	№ 1
<i>Труш Ю.Л., Зайнчковський А.О.</i> Якість сировини на підприємствах хлібопекарської галузі: теоретичний і практичний аспект	№ 2
<i>Коняга А.В., Дунда С.П.</i> Теоретичні підходи до визначення поняття розвитку підприємства	№ 2
<i>Головань О.О., Олійник О.М., Маркова С.В., Олійник М.О.</i> Реалізація стратегії глокалізації на вітчизняному ринку харчових продуктів	№ 2
<i>Страшинська Л.В., Страшинський В.І.</i> Урахування споживчих пріоритетів при виході вітчизняних підприємств на зовнішні продовольчі ринки	№ 2
<i>Пенчук Г.С.</i> Оцінка результативності діяльності підприємств молочної галузі України	№ 2
<i>Хрип'юк В.І.</i> Інструменти державного регулювання харчової промисловості України	№ 3
<i>Березянюк Т.В.</i> Простежуваність якості та безпеки в олієжировій промисловості	№ 3
<i>Закревська Л.М.</i> Поведінкова економіка як інструмент забезпечення сталих конкурентних переваг	№ 3
<i>Чигринець О.А.</i> Адаптація як інструмент підвищення стресостійкості персоналу	№ 4
<i>Романенко В.М.</i> Моделювання оцінки рейтингу університету з використанням математичних методів	№ 4
<i>Пестухова О.М., Журавель Ю.О.</i> Моніторинг стану та перспективи розвитку експортного потенціалу молочної промисловості України	№ 4
<i>Нікітіна Т.А., Богуславський О.В.</i> Економічні суперечності глобалізації	№ 4
<i>Страшинська Л.В., Самонова Т.Б.</i> Моделі інтегрованих маркетингових комунікацій туристичних підприємств	№ 4
<i>Шірінян Л.В., Еш С.М.</i> Міжбюджетні відносини в Україні в сучасних умовах	№ 4
<i>Зайнчковський А.О., Кушніренко А.М.</i> Ринок мінеральної води в Україні: проблеми якості та безпеки	№ 4
<i>Березянюк Т.В.</i> Стан інноваційної системи України	№ 4
<i>Страшинська Л.В.</i> Ринок хліба і хлібобулочних виробів України: тенденції, проблеми та перспективи розвитку	№ 5
<i>Кундєєва Г.О.</i> Інноваційний розвиток економіки України: капітал здоров'я	№ 5
<i>Омельченко К.Ю., Соломка О.М.</i> Україна: країна економічних проблем чи можливостей	№ 6

Менеджмент і стратегічне управління

<i>Закревська Л.М.</i> Перспективи розвитку системи управління персоналом в аграрному секторі економіки	№ 1
<i>Бергер А.Д.</i> Методичний підхід до формування маркетингового потенціалу підприємств м'ясопереробної галузі	№ 1
<i>Драган О.І.</i> Формування системи стрес-менеджменту на підприємствах м'ясопереробної галузі	№ 1
<i>Микитенко Н.В., Дубініна В.В.</i> Дослідження бізнес-процесів підприємств роздрібної торгівлі за допомогою методів якісного аналізу	№ 2

<i>Міненко М.А.</i> Механізм адміністрування діяльності суб'єкта господарювання	№ 2
<i>Головань О.О., Олійник О.М., Сухарева К.В., Коваленко Н.М.</i> Позиціонування в системі глобального менеджменту ТНК	№ 3
<i>Страшинська Л.В., Страшинський В.І.</i> Теоретико-методологічні підходи до класифікації конкурентних стратегій підприємств	№ 3
<i>Драган О.І., Гринюк Ю.М.</i> Оцінка інтелектуального потенціалу при формуванні конкурентних переваг підприємства	№ 3

Науки про життя

<i>Українець А.І., Сімахіна Г.О., Науменко Н.В.</i> Аюрведичні та європейські канони здоров'я	№ 2
---	-----

Охорона праці і цивільний захист

<i>Гудович О.Д., Засць В.А.</i> Забезпечення підготовки студентів у системі вищої освіти України з дисциплін «Безпека життєдіяльності» та «Цивільний захист»	№ 2
<i>Сірик А.О.</i> Прийняття управлінських рішень з охорони праці при роботі енергетичних об'єктів підприємств харчової промисловості	№ 3
<i>Євтушенко О.В.</i> Інтелектуалізація інформаційно-аналітичної системи управління охороною праці на харчовому підприємстві	№ 3
<i>Володченко Н.В.</i> Ідентифікація та оцінювання професійного ризику підприємства методом експлуатаційної безпеки і працездатності	№ 4

Процеси і апарати харчових виробництв

<i>Соколенко А.І., Шевченко О.Ю., Білик О.А., Мироненко С.М.</i> Енергетичні потенціали газорідних середовищ	№ 1
<i>Святненко Р.С., Українець А.І., Маринін А.І., Кочубей-Литвиненко О.В., Бойко М.І.</i> Вплив імпульсних електричних полів на амінокислотний склад незбираного молока	№ 1
<i>Копиленко А.В., Шибєцький В.Ю., Костик С.І., Поводзинський В.М.</i> Методологія конструкційного розрахунку ферментерів під спільною дією декількох видів навантажень	№ 1
<i>Пригодій Д.В., Васильківський К.В.</i> Навантаження гнучких зв'язків у технічних системах	№ 1
<i>Ковальов О.В., Шутюк В.В., Карвацький А.Я.</i> Фізична і математична модель процесу випікання тістових заготовок у хлібопекарських печах	№ 1
<i>Петренко В.П., Прядко М.О., Рябчук О.М., Глоба О.В.</i> Тепловіддача при випаровувальному концентруванні розчинів у вертикальних низхідних кільцевих потоках	№ 1
<i>Никитюк І.І., Лементар С.Ю., Вересоцький Ю.І., Риндюк Д.М.</i> Моделювання процесу розподілення теплоносія в сушарці для термолабільних продуктів	№ 1
<i>Бондар В.І., Солодка К.М., Василенко С.М.</i> Аналіз результатів експериментального дослідження процесу конденсації пари з парогазової суміші на поверхні циліндричного вільно-стікаючого струменя рідини (частина 1)	№ 1
<i>Соколенко А.І., Шевченко О.Ю., Максименко І., Степанець О.І.</i> Динамічні параметри процесів анаеробного бродиння	№ 2
<i>Сінат-Радченко Д.Є., Масліков М.М.</i> Наближена оцінка термінів зберігання заморожених харчових продуктів	№ 2
<i>Нескуба О.О., Чепелюк О.М., Чепелюк О.О.</i> Визначення параметрів теплового оброблення ковбаси вареної «Лікарська» в універсальній термокамері	№ 2
<i>Рачок В.В., Гудзенко В.С., Теличкун Ю.С., Теличкун В.І.</i> Формування структури пшеничного тіста в процесі замішування	№ 2
<i>Копиленко А.В., Шибєцький В.Ю., Костик С.І., Поводзинський В.М.</i> Моделювання ферментерів з вібраційним перемішуванням у фармацевтичній біотехнології	№ 3
<i>Марценюк О.С., Мисюра Т.Г., Попова Н.В.</i> Особливості моделювання складних технологічних систем у харчових технологіях	№ 3
<i>Стрельченко Л.В., Дубовецький І.В., Малезжик І.Ф.</i> Вплив питомого навантаження на кінетику процесу при конвективно-терморадіаційному сушінні яблужних сніків	№ 3
<i>Соколенко А.І., Шевченко О.Ю., Максименко І.Ф., Васильківський К.В.</i> Інтенсифікація процесів анаеробного бродиння та утилізація біологічної теплоти	№ 3
<i>Соколенко А.І., Шевченко О.Ю., Степанець О.І., Вінніченко І.</i> Анаеробне бродиння в екстремальних режимах	№ 4
<i>Захаров В.В., Устінєв О.А., Змієвський Ю.Г., Мирончук В.Г.</i> Застосування алгоритму найвального басового класифікатора для розрахунку та прогнозування процесів озонування	№ 5

<i>Бурдо О.Г., Сиротюк І.В., Левтринська Ю.О., Терзієв С.Г.</i> Технології направленої енергетичної дії у процесах зневоднення гомогенних і гетерогенних харчових систем	№ 5
<i>Самілик М.М.</i> Вплив температури цукрового утфелю останнього ступеня кристалізації на реологічні властивості міжкристального розчину	№ 5
<i>Кривопляс-Володіна Л.О., Гавва О.М., Деренівська А.В.</i> Оптимізація синтезу пакувальних машин за критерієм ефективності	№ 5
<i>Шевченко О.Ю., Соколенко А.І., Вінніченко І.М., Васильківський К.В.</i> Особливості масообмінних процесів в анаеробних газорідних середовищах	№ 5
<i>Бурдо О.Г., Безбах І.В., Зиков О.В., Шишов С.В.</i> Дослідження впливу режимних і конструктивних параметрів при обробці в'язких та дисперсних продуктів в апаратах на базі ротаційних термосифонів	№ 6
<i>Стадник І.Я., Федак С.І., Пащенко Б.С., Ткачук Н.А.</i> Методика розрахунку оптимальних параметрів валкового розкачування	№ 6
<i>Соколенко А.І., Шевченко О.Ю., Степанець О.І.</i> Експериментальні дослідження процесів десорбції спирту з водних розчинів	№ 6
<i>Сардаров А.М., Маяк О.А., Шериньов Г.Г.</i> Дослідження структурних характеристик і кінетики сушіння рослинної сировини у вібраційній вакуумній сушарці	№ 6

Тепло- і енергопостачання

<i>Галдінов М.В., Пешко В.А., Риндюк Д.В., Черноусенко О.Ю., Лементар С.Ю.</i> CFD-моделювання процесу піролізного високотемпературного розкладання сировини рослинного походження у побутових твердопаливних котлах	№ 2
<i>Шестеренко В.Є., Балута С.М., Мащенко О.А.</i> Підвищення надійності електропостачання шляхом термокомпенсації стріли провисання проводів ЛЕП	№ 3
<i>Вольчин І.А., Гапонич Л.С., Згоран І.П.</i> Вибір технології десульфуризації димових газів для українських вугільних теплових електростанцій	№ 4
<i>Павелко В.І., Лісовик Д.В., Терефенко М.В.</i> Удосконалення системи технічного водопостачання енергетичного комплексу	№ 4
<i>Якимчук М.В., Гавва О.М., Кривопляс-Володіна Л.О., Якимчук В.М.</i> Рекуперація енергії в пневматичному приводі функціонального мехатронного модуля накопичення шарів вантажів	№ 6
<i>Вольчин І.А., Гапонич Л.С.</i> Викиди діоксиду вуглецю на українських вугільних теплових електростанціях	№ 6

Фізико-математичні науки

<i>Воробйова А.М., Циганкова Г.А.</i> Спіраль Архімеда — історія і сучасність	№ 1
<i>Король А.М., Медвідь Н.В., Вишняк В.В., Литвинчук С.І.</i> Провідність контакту: надпровідний графен із d-хвильовим спарюванням — нормальний графен із різними швидкостями Фермі	№ 6

Харчові технології

<i>Дейниченко Л.Г.</i> Технологія та якість збитих десертів на основі молочно-білкового концентрату	№ 1
<i>Сімахіна Г.О., Науменко Н.В., Мартиненко Т.А.</i> Особливості створення та використання дієтичних добавок	№ 1
<i>Дітріх І.В., Євтушенко Н.В.</i> Розробка рецептури нового виду шоколадного брауні спеціального призначення	№ 1
<i>Заморська І.Л.</i> Леткі сполуки соку суниčního натурального неосвітленого	№ 1
<i>Шаповаленко О.І., Євтушенко О.О., Петренко А.О., Шатківська О.М.</i> Визначення показників якості зернової сировини та перспективи її експорту в інші країни	№ 1
<i>Токар А.Ю., Миронюк С.С., Волкова Т.В.</i> Математичне моделювання технологічного процесу обсмажування овочів в олії	№ 1
<i>Дорохович А.М., Мазур Л.С.</i> Визначення впливу цукрів сахарози, глюкози, фруктози та різних видів крохмальної патоки на властивості карамельної маси	№ 1
<i>Заболотец А.А., Ермаков А.И., Литвяк В.В.</i> Размеры и морфологические особенности зерен нативного крахмала разного ботанического происхождения	№ 1
<i>Медвідь І.М., Шидловська О.Б., Доценко В.Ф.</i> Дослідження впливу амілолітичних ферментів на мікробіологічні процеси в тісті та якість рисового хліба	№ 2

<i>Шевченко А.О.</i> Біохімічні процеси в тісті для діабетичних булочних виробів, збагачених білками та харчовими волокнами	№ 2
<i>Заморська І.Л.</i> Анатомічна будова заморожених ягід суниці залежно від попередньої обробки	№ 2
<i>Гніцевич В.А., Гончар Ю.М.</i> Дослідження процесу ферментолізу м'якоти гарбуза	№ 2
<i>Устименко І.М., Корх Н.С., Тетеріна С.М., Поліщук Г.Є.</i> Аналіз мікробіологічних показників харчових емульсій	№ 2
<i>Мудрак Т.О., Куц А.М., Ковальчук С.С., Боярчук Я.А.</i> Селекція та скринінг рас спиртових дріжджів при зброджуванні висококонцентрованого сусла з крохмалевмісної сировини	№ 2
<i>Москалюк О.Є.</i> Дослідження термінів зберігання м'ясних паштетів функціонального призначення	№ 2
<i>Кравченко М.Ф., Михайлик В.С., Ярошенко Н.Ю.</i> Технологія пісочного печива з пектином	№ 2
<i>Олійник С.І., Прибильський В.Л., Самченко І.О., Тарасюк Л.А.</i> Застосування природних мінеральних матеріалів у механічному очищенні води для напоїв	№ 2
<i>Долінський А.А., Ободович О.М., Сидоренко В.В., Гусятинська Н.А.</i> Реалії сьогодення та перспективи майбутнього підготовки питної і технологічної води	№ 2
<i>Махинько В.М., Дробот В.І., Землинська М.Д.</i> Сухарні брикети для споживачів з підвищеними білковими потребами	№ 3
<i>Гордієнко Л.В., Толстих В.Ю., Пожиткова Л.Г.</i> Зміна показників якості лукуму збивного на основі кизилового пюре при зберіганні	№ 3
<i>Українець А.І., Радзівська І.Г., Мельник О.П., Пасічний В.М.</i> Антирадикальна активність гірчиної олії в умовах автоокиснення	№ 3
<i>Сімахіна Г.О., Мартиненко Т.А.</i> Критерії вибору плодово-ягідних культур для отримання заморожених напівфабрикатів	№ 3
<i>Жук В.О., Шевченко І.І., Топчій О.А., Крижова Ю.П.</i> Особливості використання білкових препаратів у складі реструктурованих шинкових виробів	№ 3
<i>Ковтун А.В., Ковбаса В.М., Седих О.Л.</i> Оптимізація процесу виробництва формованих картопляних чипсів	№ 3
<i>Шаповаленко О.І., Євтушенко О.О., Почеп В.А.</i> Теплофізичні характеристики гранульованих висівків і математичні моделі сушіння	№ 3
<i>Солодко Л.М.</i> Використання білоквмісних напівфабрикатів із зеленої маси рослин у рецептурах кулінарних виробів	№ 3
<i>Калмазан В.Б., Чорна А.І.</i> Дослідження органолептичних і фізико-хімічних показників зефіру в їстівному покритті з фруктовими порошками	№ 3
<i>Рідкоус В.В.</i> Визначення бродильної активності дріжджів за спиртом рефрактометричним методом	№ 4
<i>Носенко Т.Т., Бабенко В.І., Бахмач В.О., Кубайчук О.О.</i> Оптимізація рецептури майонезних емульсій з яєчним білком	№ 4
<i>Пасічний В.М., Українець А.І., Храпачов О.В., Маринін А.І.</i> Основні аспекти використання багат шарових полімерних матеріалів для пастеризації та стерилізації продукції в м'ясо-переробній галузі	№ 4
<i>Сімахіна Г.О., Науменко Н.В.</i> Харчування як основний чинник збереження стану здоров'я та життєзабезпечення організму людини	№ 4
<i>Заморська І.Л.</i> Зміна кольору консервів з ягід суниці впродовж зберігання	№ 4
<i>Матяс Д.С., Камбулова Ю.В., Дорохович А.М., Мандзюк І.В.</i> Оптимізація рецептурного складу желейного мармеладу з пониженим вмістом цукру	№ 4
<i>Дулька О.С., Прибильський В.Л., Куц А.М., Коваленко О.О.</i> Використання природних мінералів та активного вугілля в технології підготовки води при виробництві хлібного квасу	№ 4
<i>Паска М.З., Маслійчук О.Б.</i> Контроль якості м'ясних функціональних котлет	№ 5
<i>Сімахіна Г.О.</i> Особливості створення комбінованих заморожених плодово-ягідних напівфабрикатів	№ 5
<i>Черевко О.І., Михайлов В.М., Загорулько О.Є., Загорулько А.М.</i> Удосконалення способу виробництва напівфабрикатів з плодово-ягідної сировини гарантованої якості	№ 5
<i>Коркач Г.В., Лебеденко Т.С., Карацуба Н.Л.</i> Зміна якості вафельних виробів із синбіотиком при зберіганні	№ 5
<i>Фролова Н.Е.</i> Сучасні способи визначення термінів зберігання харчових продуктів і шляхи їх розвитку	№ 5
<i>Омельченко Н.М., Кучерява В.А., Rogozинський М.С., Нечипоренко О.В.</i> Споживчі властивості ферментованих молочних продуктів	№ 5

<i>Мацук Ю.А., Марченко І.М., Пасічний В.М., Маринін А.І.</i> Обґрунтування технології снєків з використанням м'ясного сушеного напівфабрикату	№ 5
<i>Москалюк О.Є., Радзівєвська І.Г., Гацук О.І., Пешук Л.В.</i> Аналіз жирнокислотного складу м'ясних паштетів	№ 5
<i>Скочко О.І., Друговейко В.О., Шевченко І.І., Масліков М.М.</i> Вивчення кріопротекторних властивостей білково-полісахаридних сумішей у складі посічених напівфабрикатів	№ 5
<i>Жигунов Д.О., Мардар М.Р., Соц С.М., Барковська Ю.С., Жигунова Г.Д.</i> Дослідження технологічних властивостей пшениці та спельти як сировини для виробництва борошна і крупи	№ 5
<i>Українець А.І., Большак Ю.В., Святненко Р.С., Прохоренко Ж.І.</i> Застосування фізично зміненої (активованої) води для підвищення ефективності технологій харчового виробництва та поліпшення якості продукції	№ 5
<i>Горгачова К.Г., Макарова О.В., Хвостенко К.В.</i> Перспективність використання борошна з нових видів пшениці при виробництві галет без цукру	№ 5
<i>Іценко В.М., Кочубей-Литвиненко О.В., Квітковська Н.П., Якімінська А.Г., Іценко М.В.</i> Застосування молекулярної абсорбційної та емісійної спектроскопії для виявлення фальсифікації пастеризованого молока	№ 5
<i>Носенко Т.Т., Вовк Г.О., Королюк Т.А., Голубець О.В.</i> Вплив попередньої ферментативної обробки насіння на склад пресової гарбузової олії	№ 5
<i>Кочубей-Литвиненко О.В., Пасічний В.М., Ющенко Н.М., Яценко О.В., Кузьмик У.Г.</i> Перспективи використання ізоляту горохового протеїну у технології масляних паст	№ 6
<i>Українець А.І., Шиян П.Л., Булій Ю.В., Куц А.М.</i> Підвищення ефективності браго-ректифікаційних установок	№ 6
<i>Михайлов В.М., Самохвалова О.В., Олійник С.Г., Гревцева Н.В., Загоруйко О.Є., Загоруйко А.М.</i> Перспективи створення технологій оздоровчих хлібобулочних і кондитерських виробів на основі нетрадиційної рослинної сировини	№ 6
<i>Пешук Л.В., Іванова Т.М., Радзівєвська І.Г.</i> Наукові пошуки можливості стабілізації якості жирів з включенням нативної кверцетинвмісної сировини	№ 6
<i>Токар А.Ю., Гайдай І.В., Юшина О.Ю., Войцехівський В.І.</i> Формування якості некріплених суничних виноматеріалів за використання різних рас дріжджів	№ 6
<i>Бортнічук О.В., Білик О.А., Доценко В.Ф., Ковбаса В.М.</i> Хлібобулочні вироби геродієтичного призначення, збагачені вітаміном D	№ 6
<i>Дітріх І.В., Ільчук Н.В., Єфимович П.Є.</i> Рибоовочеві шніцелі функціонального призначення	№ 6
<i>Рідкоус В.В.</i> Визначення бродильної активності дріжджів за вуглекислим газом манометричним методом	№ 6
<i>Юрчак В.Г., Ноценко Т.І., Паливода С.Д., Голікова Т.П.</i> Дослідження процесу приготування пшеничних заквасок з використанням стартової культури LV1 для поліпшення якості хліба і здобних виробів	№ 6
<i>Сімахіна Г.О., Науменко Р.Ю.</i> Модифікація харчових продуктів: багатоваріантність підходів та пріоритети	№ 6
<i>Шаркова Н.О., Турчина Т.Я., Жукотський Е.К., Декуша Г.В.</i> Мікроструктурний аналіз грибною суспензії на стадії підготовки до розпилювального сушіння	№ 6
<i>Устименко І.М., Поліщук Г.С.</i> Розробка нового виду молокозмісного морозива, збагаченого купажованою олією	№ 6
Хімічні науки	
<i>Кроніковський О.І., Терещук Д.О., Фоменко В.В., Кроніковська О.П.</i> Дослідження закономірностей в екстракційних системах з використанням краун-етерів	№ 3
<i>Каширіна Я.О., Мурашов О.С., Мірошников О.М., Маринін А.І., Сокольський Г.В.</i> Отримання та стабілізаційні властивості нанорозмірного силіцій (IV) оксиду, гідрофобізованого на 50%	№ 3
<i>Фоменко В.В., Кроніковський О.І.</i> Механохімічний спосіб активації ванадій оксиду (V)	№ 4

Contents of the journal **“Scientific Works of the National University of Food Technologies”** **for 2018**

Automation and Information Technologies

<i>Makovetska S., M'yakshylo O.</i> Formation of the timetable for the supply of raw materials to the sugar factory with the use of genetic algorithms	# 1
<i>Bratskyi V.</i> Research and development of the method of processing log files in a distributed information system using non-relational database MongoDB	# 1
<i>Lobok O., Goncharenko B., Savitskaya N., Vihrova L.</i> Determination of the d -domain of stability of linear dynamical systems with fractional order	# 2
<i>Boyko R., Vlasenko L., Gladka M.</i> Information technologies of integration of management methods by organizational and technical (technological) systems	# 2
<i>Bratskyi V., Myakshylo E.</i> Comparison of the method of processing and analysis of JSON log files with existing solutions	# 3
<i>Lobok O., Goncharenko B., Sych M.</i> Application of linear matrix inequalities during synthesis of modular control by multidimensional linear systems	# 3
<i>Rishan O., Tikhonov O.</i> Developing a way to expand the range and improve the accuracy using ultrasonic shadow measurement method to control the width of the tape in the air	# 3
<i>Chaplinsky Y.</i> Realization of knowledge-oriented informational system of food safety	# 4
<i>Lobok O., Savizkaia N., Goncharenko B., Sych M.</i> The problem of the optimal minimax limit control of objects with distributed parameters	# 4
<i>Mirkevich R., Pupena A.</i> Planning and scheduling as the basis of effective activity of modern dairy enterprises	# 4
<i>Chaplinsky Y.</i> The modern role of context in decision-making	# 6
<i>Lutska N.</i> Energy efficiency of robust-optimal systems of control of technological objects	# 6
<i>Bezhlov A., Ladanyuk A.</i> Informational supply of the control system at the beetprocessing department of the sugar factory	# 6

Biotechnology and Microbiology

<i>Berehova Kh., Sydor I., Nykytiuk L., Pirog T.</i> Comparative characteristics of <i>Nocardia vaccinii</i> IMV B-7405 surface active substances and Phytolavin preparation as agents from bacteriosis	# 2
<i>Skrotskyi S.</i> Organic industrial wastes as substrates for butanol biosynthesis by <i>Clostridium</i> bacteria	# 2
<i>Pirog T., Gershtman A., Penchuk Yu.</i> Intensification of synthesis of practically important microbial metabolites on substrates mixture	# 4
<i>Shapovalov Ye., Salyuk A., Kotynsky A.</i> The reaserch of the dry chicken manure methanogenesis stability in solid-phase conditions	# 4
<i>Yukalo V., Storozh L., Karpuk H.</i> Molecular-mass distribution of casein phosphopeptides	# 5
<i>Danylkovych A., Lishchuk V., Okhmat O.</i> Biotechnological processes in the technology of forming of leather materials	# 5
<i>Shvets V., Karpenko O., Novikov V., Lubenets V.</i> Peculiarities of use of the compositions based on biotechnology products for rooting of thuja cuttings	# 5
<i>Golovko N., Golovko T., Gelikh A.</i> Investigation of heavy metals battery in the soft body of the freshwater mussels of genus <i>Anodonta</i>	# 5
<i>Andreyeva O., Maistrenko L., Nikonova A.</i> Research of structure and properties of biotechnological collagen-containing preparation	# 5
<i>Kondrashevska K., Kliuchka I., Pirog T., Penchuk Yu.</i> Diversity of microbial secondary metabolites	# 5
<i>Shapovalov Ye., Shapovalov V., Salavor O., Yakymenko I.</i> Comparison of EU and Ukraine regulatory framework for biogas production	# 5
<i>Danylkovych A., Bilinskii S.</i> Innovative technologies for the production of elastic leather materials	# 6
<i>Rebrykova P., Shydlovska O., Zholobak N., Mokrousova O.</i> Biotechnological aspects of wastewater treatment of enterprises that process livestock products	# 6
<i>Pirog T., Nikitiuk L., Kondrashevska K., Kluchka I.</i> Destruction of biofilms under action of surfactants synthesized by <i>Nocardia vaccinii</i> IMV B-7405 on waste of biodiesel production	# 6
<i>Okhmat O., Mokrousova O., Maistrenko L.</i> Transformations of protein in polymers of animal origin	# 6

Shapovalov Ye., Zhadan S., Salyuk A., Kotinskiy A. Regulation of the ammonia nitrogen concentration at the methane fermentation of chicken manure under conditions of the liquid phase recirculation # 6

Enterprise Economy and Social Development

Huba M., Barsuk Y. Transformation of land relations in the context of formation and realization of the state agricultural policy # 1

Tkachuk S., Stakhurska S., Stakhurskiy V. Marketing of education services: problems and perspectives # 1

Strashynska L. Food security of Ukraine: problems and areas of providing # 1

Pietukhova O., Koniaha A. Enhancing the competitiveness of production of enterprises of agricultural sphere # 1

Bezpalko E., Belova T. Methodical aspects of valuation the cost of goods and services as intellectual capital innovation economy # 1

Trush Yu. Factors influencing the quality of bakery products # 1

Holovan O., Oliynyk O., Serbinenko K., Oliynyk M. Peculiarities of the domestic coffee market micro-segmentation # 1

Trush U., Zainchkovskiy A. Quality of raw materials at the enterprises of the bakery industry: theoretical and practical aspects # 2

Koniaha A., Dunda S. Theoretical approaches to defining the concept of development of the enterprise # 2

Holovan O., Oliynyk O., Markova S., Oliynyk M. Implementation of the glocalization strategy at the domestic food market # 2

Strashynska L., Strashynsky V. Consideration of consumer priorities at expenditure of domestic enterprises on external food markets # 2

Penchuk G. Dairy industry in Ukraine: evaluation of business efficiency # 2

Khrypiuk V. Instruments of the state regulation of food industry of Ukraine # 3

Berezianko T. Quality and safety traceability in oil & fat industry # 3

Chyhrynets O. Adaptation as staff stress resistance increasing tool # 4

Romanenko V. Modeling the evaluation of university's rating by mathematical methods # 4

Pietukhova O., Zhuravel Ju. Monitoring the status and prospects for development of export potential of the dairy industry of Ukraine # 4

Nikitina T., Boguslavskyy A. Economic contradictions of globalization # 4

Strashynska L., Samonova T. Models of integrated marketing communications of tourist enterprises # 4

Shirinyan L., Esh S. Inter-budgetary relations in Ukraine in modern conditions # 4

Zainchkovskiy A., Kushnirenko A. Market of mineral water in Ukraine: problems of quality and safety # 4

Berezianko T. State of the innovative system of Ukraine # 4

Strashynska L. Bread and bakery market in Ukraine: trends, problems and prospects of development # 5

Kyndieieva G. Innovative development of Ukraine's economy: health capital # 5

Omelchenko K., Solomka O. Ukraine: a land of economic problems or opportunities # 6

Business Administration and Strategic Management

Zakrevska L. Perspectives of development of human resources management system in the agricultural sector of economy # 1

Berger A. Methodical approach to formation of marketing potential of enterprises of meat processing industry # 1

Dragan E. The formation of the system of stress-management at the enterprises of the meat-processing industry # 1

Mikitenko N., Dubinina V. Research of business processes of retail trade enterprises by quality analysis methods # 2

Minenko M. Mechanism of administration of an entity's activity # 2

Holovan O., Oliynyk O., Suhareva K., Kovalenko N. Positioning in TNC glocal management system # 3

Strashynska L., Strashynskiy V. Theoretical and methodological approaches to the classification of competitive strategies of enterprises # 3

Dragan O., Hryniuk Iu. Estimation of intellectual potential at forming the competitive edges of the enterprise # 3

Life Sciences

Ukrayinets A., Simakhina G., Naumenko N. Ayurvedic and european canons of health # 2

Occupational Health and Civil Protection

Gudovych O., Zayets V. Provision of students training on disciplines "Safety of life" and "Civil protection" in the system of higher education in Ukraine # 2

Siryk A. An acceptance of administrative decisions in the field of labour protection during work of power objects on enterprises of food industry # 3

Yevtushenko O. Intellectualization of the informational and analytical labor protection management system on the food enterprise # 3

Volodchenkova N. Identification and evaluation of professional risk at the enterprise by method of operation safety and efficiency # 4

Processes and Equipment for Food Industries

Sokolenko A., Shevchenko O., Bilyk O., Myronenko S. Energy potentials of the gas-liquid media # 1

Svyatnenko R., Ukrainets A., Marynin A., Kochubei-Lytvynenko O., Boyko M. Effect of pulsed electric fields on the amino acid composition of whole milk # 1

Kopylenko A., Shybetskyi V., Kostyk S., Povodzinskiy V. Methodology of construction calculation of bioreactors with a joint action of different loads # 1

Pryhodii D., Vasilkovskiy K. Load flexible connections in technical systems # 1

Kovalyov A., Shutuk V., Karwacki A. Physical and mathematical models of baking process of dough pieces in oven units # 1

Petrenko V., Pryadko M., Ryabchuk O., Globa O. Heat transfer at evaporative concentration solutions in vertical descending annular flows # 1

Nykytiuk I., Lementar S., Veresotskyi Yu., Ryndiuk D. Modeling of the distribution process of thermal heat sources in dryer for thermalable products # 1

Bondar V., Solodka K., Vasilenko S. Analysis of the results of an experimental study of the process of vapor condensation from vapor-gas mixture on the surface of the cylindrical free-draining liquid jet (part 1) # 1

Sokolenko A., Shevchenko O., Maksymenko I., Stepanets O. Dynamic parameters of anaerobic processes # 2

Sinat-Radchenko D., Maslikov M. The approximate estimation of the expiration date of frozen food # 2

Nescuba O., Chepeliuk O., Chepeliuk O. Definition of the heat treatment parameters of the cooked sausage "Likarska" in the universal smoking-cooking chamber # 2

Rachok V., Gudzenko V., Telychkun Y., Telychkun V. Formation of the structure of wheat dough during the process of kneading # 2

Kopylenko A., Shybetskyi V., Kostyk S., Povodzinskiy V. Modeling of fermenter with vibratory mixing devices in pharmaceutical biotechnology # 3

Martseniuk A., Misyura T., Popova N. Features of modeling complex technological systems in food technologies # 3

Strelchenko L., Dubkovetskyi I., Malezhyk I. Influence of the specific load on the kinetics of the process of convective-thermo-radiation drying of apple snacks # 3

Sokolenko A., Shevchenko O., Maksymenko I., Vasylykivsky K. Intensification of processes of anaerobic fermentation and utilization of biological heat # 3

Sokolenko A., Shevchenko A., Stepanets O., Vinnichenko I. Anaerobic fermentation at extreme regimes # 4

Zakharov V., Ustinov O., Zmievskii Yu., Myronchuk V. Application of the naive bayes classifier for calculation and prediction of ozonation processes # 5

Burdo O., Syrotuk I., Levtrinskaya Yu., Terziev S. Technologies of direct energy action in the processes of the removal of homogenic and heterogenic food systems # 5

Samilyk M. Temperature effect of the last product sugar massecuite crystallization process on the rheological properties of the syrup # 5

Kryvoplias-Volodina L., Gavva O., Derenivska A. Optimization of the synthesis of packing machines by the efficiency criteria # 5

Shevchenko A., Sokolenko A., Vinnichenko I., Vasylykivsky K. Peculiarities of mass-exchange processes in anaerobic gas-liquid media # 5

Burdo O., Bezbakh I., Zykov O., Shishov S. Research on the impact of modified and constructive parameters in the processing of viscous and dispersion products in apparatus on the rotational thermosiphon base # 6

- Stadnyk I., Fedak S., Pashchenko B., Tkachuk N.* Methods of calculation of optimal parameters of rolling # 6
- Sokolenko A., Shevchenko O., Stepanets O.* Experimental investigations of alcohol desorption processes from water solutions # 6
- Sardarov A., Mayak O., Shershnev G.* Research of structural characteristics and kinetics of drying raw material in vibration vacuum dryer # 6

Heat and Electricity

- Haldinov M., Peshko V., Rindyuk D., Chernousenko O., Lementar S.* CFD-simulation of the pyrolysis process of high-temperature decomposition of raw materials of plant origin in household solid-fuel boilers # 2
- Shesterenko V., Balyuta S., Mashchenko O.* Increasing the reliability of electrical delivery by termocompensation of the sagging arrow of lines wires # 3
- Volchyn I., Haponych L., Zhoran I.* Selection of the technology of desulfurization of flue gases for ukrainian coal-burning thermal power plants # 4
- Pavelko V., Lisoviy D., Terefenko M.* Improvement of the system of technical water supply of the power complex # 4
- Iakymchuk M., Gavva O., Kryvoplias-Volodina L., Yakymchuk V.* Recuperation of energy in the pneumatic drive of the functional mechatronic module of accumulation of layer of cargo # 6
- Volchyn I., Haponych L.* Carbon dioxide emissions at the Ukrainian pulverized-coal thermal power plants # 6

Physical and Mathematical Sciences

- Vorobiova A., Tsygankova G.* Archimedes' spiral — history and modernity # 1
- Korol A., Medvid N., Vyshniak V., Litynychuk S.* Conductivity of the junction: d-wave pairing superconductive graphene–normal graphene with different Fermi velocity # 6

Food Technology

- Deinychenko L.* Technology and quality of whipped desserts based on milk-protein concentrate # 1
- Simakhina G., Naumenko N., Martynenko T.* The specification of production and using the dietary supplements # 1
- Ditrikh I., Yevtushenko N.* Development of the formulation of a new kind of chocolate brownie for special purpose # 1
- Zamorska I.* Volatile compounds of natural unclarified strawberry juice # 1
- Shapovalenko O., Yevtushenko O., Petrenko A., Shatkivska O.* Grain quality determination indicators and prospects for grain export to other countries # 1
- Tokar A., Muronyuk S., Volkova T.* Mathematical modeling of technological process of roasting vegetables in oil # 1
- Dorokhovych A., Mazur L.* Determination of the effect of sugars sucrose, glucose, fructose and various types of the starched molasses on the properties of caramel mass # 1
- Zabolotec A., Ermakov A., Litvyak V.* The size and morphological features of grains of native starch of different botanical origin # 1
- Medvid I., Shydlovska O., Dotsenko V.* The research of influence of amylolytic enzymes on microbiological processes in the dough and quality of rice bread # 2
- Shevchenko A.* Biochemical processes in the dough for diabetic bakery products, enriched with proteins and food fibers # 2
- Zamorska I.* Anatomic structure of frozen strawberries depending on previous processing # 2
- Gnitsevykh V., Honchar Y.* Investigation the process of fermentation of pumpkin pulp # 2
- Ustyomenko I., Korh N., Teterina S., Polischuk G.* Analysis of microbiological indicators of food emulsions # 2
- Mudrak T., Kuts A., Kovalchuk S., Boiarchuk I.* Selection and screening of spirituous yeast race when fermentation of wort with high concentration from starchy raw material takes place # 2
- Moskalyuk O.* Study of the terms of storage of meat paste of functional appointment # 2
- Kravchenko M., Mykhailiyk V., Yaroshenko N.* Technology of shortcake with pectin # 2
- Oliinyk S., Prybylskyi V., Samchenko I., Tarasiuk L.* Using natural mineral materials for mechanical water treatment for drinks # 2
- Dolinsky A., Obodovych O., Sydorenko V., Husiatynska N.* The realities of the present and future prospects of drinking and technological water # 2
- Makhynko V., Drobot V., Zemlynska M.* Crumb briquettes for consumers with the increased protein needs # 3

<i>Gordienko L., Tolstikh V., Pojtkova L.</i> Changes in quality characteristics of lacoum with cornel puree during storage	# 3
<i>Ukrainets A., Radzievska I., Melnyk O., Pasichnyi V.</i> Antiradical activity of mustard oil during the oxidation	# 3
<i>Simakhina G., Martynenko T.</i> Criteria of fruit and berry cultures selection to obtain the frozen half products	# 3
<i>Zhuk V., Shevchenko I., Topchii O., Kryzhova Y.</i> Features of the use of protein preparations in the structure of restructured ham products	# 3
<i>Kovtun A., Kovbasa V., Seidykh O.</i> Optimization of the process of manufacturing formed potatoes chips	# 3
<i>Shapovalenko O., Yevtushenko O., Pochev V.</i> Granulated bran's thermophysical characteristics and drying mathematical models	# 3
<i>Solodko L.</i> Using of protein-containing plant green mass semi-products in the reciples of culinary products	# 3
<i>Kalmazan V., Chorna A.</i> The research of organoleptic and physico-chemical indicators of marshmallow in edible coating with fruit powders	# 3
<i>Ridkous V.</i> Determination of fermentative yeast activity by ethanol by refractometric method	# 4
<i>Nosenko T., Babenko V., Bakhmach V., Kubaychuk O.</i> Optimization of mayonnaise emulsion recipe with egg protein	# 4
<i>Pasichnyi V., Ukrainets A., Khrapachov O., Marynin A.</i> Main aspects of using multilayer poly-meric materials for pasterization and sterilization of products in the meat processing industry	# 4
<i>Simakhina G., Naumenko N.</i> Nutrition as the main factor to protect the state of health and the life provision of human organism	# 4
<i>Zamorska I.</i> Changing of the colour of canned strawberry during the process of storage	# 4
<i>Matias D., Kambulova J., Dorokhovich A., Mandzyuk I.</i> Optimization of the recipe composition of jelly marmalade with reduced content of sugar	# 4
<i>Dulka O., Prybylskiy V., Kutz A., Kovalenko O.</i> The use of natural minerals and activated carbon in technology of water treatment during bread kvass manufacturing	# 4
<i>Paska M., Masliichuk O.</i> Quality control of meat functional cutlets	# 5
<i>Simakhina G.</i> Specifications of creating the combined frozen half-products of fruit and berries	# 5
<i>Cherevko O., Mykhaylov V., Zagorulko A., Zahorulko A.</i> Improvement of the process production of vegetable convenience foods from fruit-and-berry raw materials of guaranteed quality	# 5
<i>Korkach H., Lebedenko T., Karatsuba N.</i> Change of quality of wafer products with synbiotic during storage	# 5
<i>Frolova N.</i> Modern methods of determining shelf life of nutrition products and ways of its development	# 5
<i>Omelchenko N., Kucheryava V., Rogozynskiy M., Nechyporenko O.</i> Some consumer characteristics of the fermented dairy products	# 5
<i>Matsuk Y., Marchenko I., Pasichnyi V., Marinin A.</i> The justification of snack technology with using meat dried semi-finished product	# 5
<i>Moskalyuk O., Radzievska I., Haschuk A., Peshuk L.</i> Analysis of fatty acid composition of meat pates	# 5
<i>Skochko O., Druhovoeiko V., Shevchenko I., Maslikov M.</i> Study of cryoprotectoral properties of bio-polysacharid mixtures in the composition of minced semi-products	# 5
<i>Zhygunov D., Mardar M., Sots S., Barkovskaya Yu., Zhyhunova G.</i> Research of technological properties of wheat and spelt grain as raw materials for flour and groats manufacturing	# 5
<i>Ukrainets A., Bolshak Yu., Syvatnenko R., Prohorenko Z.</i> Application of physically modified (active) water for improving the efficiency of food production technologies and improving quality of production	# 5
<i>Iorgachova K., Makarova O., Khvostenko K.</i> Prospect of the new types of wheat flour usage in the production of refined sugar-free hardtacks	# 5
<i>Ischenko V., Kochubei-Lytvynenko O., Kvitkovskaya N., Yakiminskaya A., Ischenko M.</i> Application of molecular absorption and emission spectrometry for determination of falsification of pasterised milk	# 5
<i>Nosenko T., Vovk G., Koroluk T., Golubec O.</i> Influence of the preveous enzymatic treatment of seeds on the composition of press pumpkin oil	# 5
<i>Kochubei-Lytvynenko O., Pasichnyi V., Yushchenko N., Yatsenko O., Kuzmyk U.</i> Prospects of usage of pea protein isolate in buttery pastes technology	# 6
<i>Ukrainets A., Shiyani P., Buliy Y., Kuts A.</i> Improving the efficiency of distillation and rectification equipment	# 6

<i>Mykhaylov V., Samokhvalova O., Oliinyk S., Grevtseva N., Zagorulko A., Zahorulko A.</i>	# 6
Prospects for the development of technologies of healthy bakery and confectionery products based on non-traditional plant raw materials	
<i>Peshuk L., Ivanova T., Radzievska I.</i>	# 6
Scientific results of the possibility of stabilization of pork fat on the native quercetin containing raw material	
<i>Tokar A., Haidai I., Yershyna O., Voitsechivskyi V.</i>	# 6
Quality formation of unfortified strawberry wine materials under application of different yeast races	
<i>Bortnichuk O., Bilyk O., Dozenko V., Kovbasa V.</i>	# 6
Gerodietetic bakery products enrichment vitamin D	
<i>Ditrikh I., Ilchuck N., Yefymovych P.</i>	# 6
Fish and vegetables schitzel for functional purpose	
<i>Ridkous V.</i>	# 6
Determination of fermentative yeast activity by carbon dioxide by manometry method	
<i>Yurchak V., Noshchenko T., Palyvoda S., Golikova T.</i>	# 6
Investigation of wheat sourdough preparation with using of starter LV1 for increasing of sweet dough quality	
<i>Simakhina G., Naumenko R.</i>	# 6
Modification of foodstuffs: variability of approaches and priorities	
<i>Sharkova N., Turchyna T., Zhukotskyi E., Dekusha H.</i>	# 6
Microstructure analysis of mushroom suspension at preparation stage before spray drying	
<i>Ustymenko I., Polischuk G.</i>	# 6
Development of a new type of milk-containing ice-cream enriched with blended oil	
Chemical Sciences	
<i>Kronikovskii O., Terechuk D., Fomenko V., Kronikovska O.</i>	# 3
Research of regularities in extractive systems using crown eaters	
<i>Kashyrina Y., Muratov A., Miroshnikov O., Marinin A., Sokolsky G.</i>	# 3
Obtaining and stabilization properties of nanosized silica(IV) oxide hydrophobized by 50%	
<i>Fomenko V., Kronikovsky O.</i>	# 4
Mekhanochemical method for activation of vanadium oxide (V)	

ДО ВІДОМА АВТОРІВ

Шановні колеги!

Редакційна колегія журналу «Наукові праці Національного університету харчових технологій» запрошує вас до публікації наукових праць.

До друку приймаються рукописи, які раніше не були опубліковані в друкованих та електронних виданнях. Автор, який подає матеріали до друку, зберігає за собою всі авторські права та надає відповідному виданню право першої публікації, дозволяючи розповсюджувати даний матеріал із зазначенням авторства й джерела первинної публікації, а також погоджується на розміщення її електронної версії на сайті Національної бібліотеки ім. В.І. Вернадського та у відкритому доступі в електронній мережі університету і на сайті журналу <http://journal.nuft.edu.ua>. Автор надає право редакційній колегії на рецензування та відхилення поданих для опублікування матеріалів. В одному номері може бути опублікована лише одна стаття автора (як власна, так і в співавторстві).

У редакційно-видавничий відділ необхідно представити:

- файл статті;
- рецензію доктора наук певної галузі (за тематичною спрямованістю статті). Якщо один із авторів статті є доктором наук, то рецензія необов'язкова;
- роздруковку тексту статті, що відповідає наданому файлу;
- заяву з підписами автора(-ів) про те, що надіслана стаття раніше не друкувалася і не подана до будь-яких інших видань;
- витяг з протоколу засідання кафедри (підрозділу) з рекомендацією роботи до друку.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

Статті подаються у вигляді вчитаних роздрукувань на папері формату А4 (поля з усіх сторін по 2 см, Time New Roman, кегль 14, інтервал 1,5) та електронної версії (редактор Microsoft Word). У тексті статті не повинно бути порожніх рядків. Між словами допускається лише один пробіл. Усі сторінки тексту мають бути пронумеровані. Обсяг статті має бути не менший 15 тис. знаків і не перевищувати 24 тис. знаків (як виняток, не більше 40 тис. знаків).

ПОСЛІДОВНІСТЬ СТРУКТУРНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СТАТТІ

1. Індекс УДК.
2. Назва статті (англійською та українською мовами).
3. Ініціали та прізвища авторів англійською та українською мовами (не більше чотирьох авторів).
4. Анотація англійською та українською мовами (1 800 символів з пробілами). Анотація має містити коротку інформацію про мету, об'єкт та методику досліджень, основні результати й рекомендації щодо їх застосування.
5. Ключові слова (5—6 слів/ключових словосполучень англійською та українською мовами).
6. Структура текстової частини:
 - постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими практичними завданнями;
 - аналіз останніх досліджень і публікацій, на які спирається автор;
 - формулювання мети статті;
 - викладення основного матеріалу;
 - висновки і перспективи подальших наукових досліджень.
7. Після тексту статті в алфавітному або порядку цитування в тексті наводиться список літературних джерел (не менше п'яти джерел, не більше дванадцяти). Бібліографічні описи оформляються згідно з ДСТУ 8302:2015. У тексті цитоване джерело позначається у квадратних дужках цифрою, під якою воно стоїть у списку літератури. Бібліографічний опис подається мовою видання. Не допускається посилання на неопубліковані матеріали. У переліку джерел мають переважати посилання на наукові праці останніх років. Також слід обмежити посилання на власні публікації, оскільки це знижує наукову цінність статті та індекс цитування автора.