



2020

НАУКОВІ ПРАЦІ

НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Том 26 № 4

*Журнал
«Наукові праці Національного університету харчових технологій»
видається з 1938 року*

КИЇВ ✦ НУХТ ✦ 2020

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 (specialties — 121, 126, 133, 141, 144, 151, 162, 181) and economic sciences (specialties — 051, 073, 075), category “B” (Decree of MES of Ukraine # 975 from July 11, 2019), 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
- 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 # 1 from 03th of September, 2020

© NUFT, 2020

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 (спеціальності — 121, 126, 133, 141, 144, 151, 162, 181) та економічних наук (спеціальності — 051, 073, 075), категорія «Б» (Наказ МОН України № 975 від 11.07.2019), 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
- 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 № 1 від 03 вересня 2020 року

© НУХТ, 2020

Редакційна колегія

Склад редакційної колегії журналу

«Наукові праці Національного університету харчових технологій»

Головний редактор

Editor-in-Chief

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:

Агота Гедре Райшене

Agota Giedre Raisiene

д-р екон. наук, Литва

Ph. D. Hab., Lithuanian Institute of Agrarian Economics,
Lithuania

Атанаска Тенева

Atanaska Teneva

д-р екон. наук, доц., Болгарія

Ph. D. Hab., University of Food Technologies, Bulgaria

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

Андрій Маринін

Andrii Marynin

канд. техн. наук, ст. наук. сп., Україна

Ph. D. As., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Брайан Мак Кенна

Brian McKenna

д-р техн. наук, проф., Ірландія

Ph. D. Hab., Prof., University College Dublin, Ireland

Валерій Мирончук

Valeriy Myronchuk

д-р техн. наук, проф., Україна

Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Василь Кишенюк

Vasyl Kyshenko

канд. техн. наук, проф., Україна

Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

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

Віктор Стабніков

Viktor Stabnikov

д-р техн. наук, проф., Україна

Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Володимир Зав'ялов

Volodymyr Zavialov

д-р техн. наук, проф., Україна

Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine

Володимир Іванов

Volodymyr Ivanov

д-р. біол. наук, проф., Україна

Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies,
Ukraine

Галина Колісник

Halyna Kolisnyk

д-р екон. наук, проф., Україна

Ph. D. Hab., Prof., Uzhhorod National University, Ukraine

Галина Поліщук 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 Leskauskaitė	д-р техн. наук, проф., Литва Ph. D. Hab., Prof., Kaunas University of Technology, Lithuania
Ірина Штулер Iryna Shtuler	д-р екон. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National academy of management
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 Арсенєва Larisa Arsenyeva	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Наталія Луцька Nataliia Lutska	канд. техн. наук, доц., 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 Гавва Oleksandr Gavva	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олександр Кургаєв Oleksandr Kurgaev	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олена Дерев'яно Olena Derevianko	д-р екон. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олена Стабнікова Olena Stabnikova	канд. техн. наук, доц., Україна Ph. D. As., 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
Володимир Ковбаса Volodymyr Kovbasa	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Світлана Бондаренко Svitlana Bondarenko	д-р хім. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Світлана Літвінчук Svitlana Litvynchuk	канд. техн. наук, доц., Україна Ph. D. As., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Сергій Чумаченко Serhii Chumachenko	д-р техн. наук, ст. наук. сп., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Хууб Леліевельд Huub Lelieveld	Нідерланди Ph. D. Hab., Prof., President of the Global Harmonization Initiatives, Netherlands

ЗМІСТ
Автоматизація та інформаційні
технології

Роговик А. В., Ельперін І. В., Засць Н. А. Концептуальний опис електротехнологічного комплексу цукрового заводу
Ладанюк А. П., Власенко Л. О., Луцька Н. М., Смітюх Я. В., Бойко Р. О. Автоматизовані технологічні комплекси: сучасні методи, задачі аналізу та синтезу. Частина 2. Приклади реалізації і проблема технологічних ризиків
Бокоч І. В., Трегуб В. Г., Клименко О. М. Логічна модель періодичних процесів в утфельних вакуум-апаратах з двоетапною кристалізацією

Біотехнології

Вороненко А. А., Ярош М. Б., Пирог Т. П. Біоконверсія відпрацьованої олії в мікробний екзополісахарид етаполан для природоохоронних технологій
Хонків М. О., Тетеріна С. М., Даниленко С. Г., Потемська О. І. Використання багатокритеріальної оптимізації поживного середовища для накопичення біомаси молочнокислих бактерій

Економіка, менеджмент і маркетинг

Скопенко Н. С., Євсєєва-Северина І. В. Застосування сучасних інформаційних систем і технологій в управлінні з метою підвищення конкурентоспроможності підприємств
Роганова Г. О., Щербаківа К. В. Оцінка ліквідності та платоспроможності підприємства кондитерської промисловості

Механічна та електрична інженерія

Долінський А. А., Малецька К. Д., Авдєєва Л. Ю., Гартвіг А. П., Макаренко А. А. Перспективи використання сучасних вітчизняних розпилювальних сушарок для переробки продукції агропромислового комплексу
Мирончук В. Г., Змієвський Ю. Г., Захаров В. В., Корнієнко Л. В. Методика визначення достовірності ймовірно-статистичної моделі розрахунку процесу озонування
Соколенко А. І., Шевченко О. Ю., Костюк В. С., Литвинчук С. І. Системи утилізації вторинної пари сушловарильних апаратів
Рябчук О. М., Мирошник М. М., Бойко В. О., Грищенко Р. В., Павліченко В. А. Способи регулювання холодопродуктивності станцій з поршневыми компресорами
Шестеренко В. Є., Извольський І. Є., Машченко О. А. Аналіз рівня вищих гармонік у системі електропостачання цукрових заводів

CONTENTS

Automation and Information Technologies

- 7 *Rohovyk A., Elperin I., Zaiets N.* Conceptual description of the electrotechnological complex of the sugar plant
15 *Ladanyuk A., Vlasenko L., Lutska N., Smityuh Y., Boyko R.* Automated technological complexes: modern methods and problems of analysis and synthesis. Part 2. Examples of implementation and the problem of technological risks
23 *Bokoch I., Tregub V., Klumenko O.* Logical model of periodic processes in masecuite vacuum devices with two-stage crystallization

Biotechnology

- 37 *Voronenko A., Yarosh M., Pirog T.* Bioconversion of waste oil to microbial exopolysaccharide ethapolan for environmental technologies
47 *Khonkiv M., Teterina S., Danylenko S., Potemska O.* Use of multicriterial optimization of the growth medium for accumulation of biomass of lactic acid bacteria

Economy, Management and Marketing

- 58 *Skopenko N., Yevsieva-Severyna I.* Modern information systems and technologies implementation in management for increasing competitiveness of enterprises
71 *Rohanova H., Shcherbakova K.* Assessment of liquidity and solvency of the plant of confectionery industry

Mechanical and Electrical Engineering

- 81 *Dolinskyi A., Maletska K., Avdieieva L., Hartviih A., Makarenko A.* Prospects of using modern domestic spray dryers for processing of agro-industrial complex products
90 *Myronchuk V., Zmievskii Yu., Zakharov V., Kornienko L.* Method for determining the reliability of the probabilistic-statistical model for calculating the ozonation process
98 *Sokolenko A., Shevchenko O., Kostyuk V., Litvynchuk S.* Systems of utilization of secondary steam of apparatus for beer wort
113 *Riabchuk O., Miroshnyk M., Boiko V., Gryshchenko R., Pavlichenko V.* The methods of cooling capacity regulation of stations with reciprocating compressors
130 *Shesterenko V., Izvolenskiy I., Mashchenko O.* Analysis of the level of higher harmonics in the sugar supply system

- Шупчинська К. С., Олійник О. М., Ткаченко І. Г., Антоненко Н. М.* Напрямки підвищення енергоефективності тришарового покриття теплиць 140 *Shupchynska K., Oliynyk O., Tkachenko I., Antonenko N.* Directions for increasing the energy efficiency of three-layer coating of greenhouses
- Поржезінський Ю. Г.* Дослідження гідродинаміки і теплообміну в трубах випарних апаратів з натуральною циркуляцією 149 *Porzhezynsky Y.* Research of hydrodynamics and heat exchange motion in the pipes of evaporators with natural circulation
- Марценюк О. С.* Емульгування в апаратах з регулярними перфорованими насадками 154 *Martseniuk A.* Emulsification in apparatus with regular perforated nozzles
- Харчові технології**
- Сімахіна Г. О.* Кріоушкодження плодів та ягід і методи захисту клітинних структур при заморожуванні 163 *Simakhina G.* Cryogenous damages in fruit and berries and the methods of cellular structures protection during freezing
- Махінько В. М., Махінько Л. В.* Розрахункові методики ФАО/ВООЗ для оцінювання якості харчового білка 171 *Makhynko V., Makhynko L.* Calculating methods of FAO/WHO for the estimation of quality of dietary protein
- Бондаренко Ю. В., Білик О. А., Кочубей-Литвиненко О. В., Андронович Г. М.* Насіння льону як рецептурний компонент хлібобулочних виробів 178 *Bondarenko Yu., Bilyk O., Kochubei-Lytvynenko O., Andronovich G.* Flax seeds as the prescription component of bakery products
- Романова З. М., Романов О. С., Терлецька В. А.* Використання нетрадиційної сировини та її вплив на показники готового пива 190 *Romanova Z., Romanov O., Terletska V.* Use of non-traditional raw materials in brewing and their effect on indicators of prepared beer
- Самченко І. О., Олійник С. І.* Дослідження адсорбційної активності активованого та модифікованого вуглецевого волокна для очищення сортівок 199 *Samchenko I., Oliynyk S.* Research of adsorption activity of activated and modified carbon fiber for cleaning of sorting
- Белінська К. О., Фалендиш Н. О.* Дослідження змін сухих молочних сумішей для дитячого харчування в процесі їх зберігання 212 *Belinska K., Falendysh N.* Research of changes of dry milk mixtures for baby nutrition in the process of their storage
- Хімічні науки**
- Чорний В. М., Мисюра Т. Г., Попова Н. В., Зав'ялов В. Л.* Спосіб кількісного визначення бурштинової кислоти в екстрактах бурштину 218 *Chorny V., Mysiura T., Popova N., Zavalov V.* Method of quantitative determination of succinic acid in amber extracts
- Chemical Sciences**

УДК 681.518.5

CONCEPTUAL DESCRIPTION OF THE ELECTROTECHNOLOGICAL COMPLEX OF THE SUGAR PLANT

A. Rohovyk, I. Elperin, N. Zaiets

National University of Food Technologies

Key words:

*Sugar refinery
Electrotechnical complex
Object-oriented modeling
Class diagrams
Interaction diagrams
State diagrams
Energy efficiency*

Article history:

Received 06.07.2020
Received in revised form
20.07.2020
Accepted 03.08.2020

Corresponding author:

A. Rohovyk

E-mail:

andrey_rogovik@ukr.net

ABSTRACT

The article provides a conceptual description of the electro-technological complex of a sugar refinery as a complex technological system. This is done to assess the parameters that need to be investigated at the production facility in the context of their further management. It is shown that the control of the sugar production process is characterized by a certain hierarchy in space and time: sugar factory — workshop/department — separate apparatus.

The sugar production management process is continuous and consists of continuous management functions. At sugar factories, functions of managing energy efficiency of production at the level of the chief mechanic and chief engineer are almost not automated. To describe the process of the functioning of sugar refinery in UML terms, the main stages and operations are highlighted: storage and preparation, diffusion separation, defecosaturation station, evaporation station, condensate household, food department. In the article, to display the statics and dynamics of the system, the main types of diagrams are used: classes, which show the static structure of the system; interaction, which show the temporal sequence of the use of objects; states, determines the sequence of states of an object depending on external influences. The description of states allows to describe the model of the object's behavior when receiving various energy flows and its interaction with others.

UML-diagrams made it possible to describe the complex process of functioning of the complex of sugar refinery, and in such way that all connections between workshops, heat and energy flows were visible. These diagrams make it possible to evaluate the parameters that need to be investigated at the production facility in the context of their further management.

DOI: 10.24263/2225-2924-2020-26-4-3

КОНЦЕПТУАЛЬНИЙ ОПИС ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНОГО КОМПЛЕКСУ ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ

А. В. Роговик, І. В. Ельперін, Н. А. Заєць

Національний університет харчових технологій

У статті здійснено концептуальний опис електротехнологічного комплексу цукрового заводу як складної технологічної системи для оцінки параметрів, які необхідно дослідити на виробничому об'єкті в контексті подальшого керування ними. Показано, що керування процесом виготовлення цукру характеризується певною ієрархією в просторі та часі: цукровий завод — цех/відділення — окремий апарат.

Процес керування цукровим виробництвом має неперервний характер та складається з неперервних функцій керування. На цукрових підприємствах майже не автоматизовані функції керування енергоефективністю виробництва на рівні головного механіка та головного інженера. Для опису в термінах UML процесу функціонування цукрового заводу виділені основні стадії й операції: зберігання та підготовка, дифузійне відділення, станція дефекосатурації, випарна станція, конденсатне господарство, продуктове відділення.

Для відображення статички і динаміки системи використані основні типи діаграм класів (показує статичну структуру системи), взаємодії (показує часову послідовність використання об'єктів), стану (визначає послідовність станів об'єкта залежно від зовнішніх дій). Опис станів дає змогу описати модель поведінки об'єкта при отриманні різних енергетичних потоків і взаємодії його з іншими.

UML-діаграми дають змогу описати складний процес функціонування технологічного комплексу цукрового заводу, причому таким чином, щоб були помітні всі зв'язки між цехами, теплові й енергетичні потоки між ними, оцінити параметри, які необхідно дослідити на виробничому об'єкті в контексті подальшого керування ними.

Ключові слова: цукровий завод, електротехнічний комплекс, об'єктно-орієнтоване моделювання, діаграми класів, діаграми взаємодій, діаграми станів, енергоефективність.

Постановка проблеми. В процесі функціонування цукрового заводу на виробничий процес впливають фактори, які можуть призвести до відхилення від планової траєкторії функціонування або до зупинки виробництва, що, у свою чергу, значно впливає на енергоефективність роботи підприємства. Сучасний рівень автоматизації цукрової промисловості досить високий, однак на підприємствах майже не автоматизовані функції керування енергоефективністю виробництва на рівні головного механіка і головного інженера. Метою створення

енергоефективної системи керування цукровим заводом є знаходження ефективного режиму роботи виробничого комплексу.

Керування процесом виготовлення цукру характеризується певною ієрархією в просторі і в часі: цукровий завод-цех/відділення-окремий апарат. Процес керування цукровим виробництвом має неперервний характер і складається з неперервних функцій керування, до яких відносяться облік, контроль, аналіз, прогнозування, планування й регулювання. Саме енергоефективна система керування дасть змогу особі, що приймає рішення, творчо брати участь у процесі керування, активно впливати на його хід, використовуючи практичний досвід з метою покращення енергоефективності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Велика кількість праць присвячена моделюванню процесів харчових виробництв за допомогою мови моделювання UML. Так, в [1] розглядається моделювання електротехнічного комплексу хлібопекарського виробництва, у [2] розглянуто метод побудови математичної моделі автоматизованого утфельного вакуум-апарата в термінах уніфікованої мови моделювання UML. У [3] розглядається біотехнологічний процес вирощування хлібопекарських дріжджів, що здійснюється за періодичним способом. Для опису логічної частини використовується уніфікована мова моделювання UML. У [4] для вивчення поведінки автоклава з протитиском в різних умовах, а також знаходження оптимального проходження процесу пропонується використовувати мову моделювання UML.

Мета дослідження: розробити концептуальний опис електротехнологічного комплексу цукрового заводу як складної технологічної системи для оцінки параметрів, які необхідно дослідити на виробничому об'єкті в контексті подальшого керування ними.

Викладення основних результатів дослідження. Традиційні методи процедурного програмування та моделювання не можуть справитись зі складністю опису процесів, що проходять на цукровому заводі, тому використання об'єктно-орієнтованого моделювання технологічного комплексу цукрового заводу уніфікованою мовою моделювання UML є актуальним завданням [5]. Вирішення завдання концептуального моделювання — визначення змістовної складової внутрішньо системних зв'язків, дасть змогу провести параметричний синтез відповідної системи керування [6].

Для опису в термінах UML процесу функціонування цукрового заводу виділені такі стадії і операції:

1. Зберігання та підготовка:

- мийка;
- бурякорізка;
- кагатне поле.

2. Дифузійне відділення:

- відстійник ЖПВ;
- збірник ЖПВ;
- збірник барометричної води;
- пароконтактний підігрівач;

- збірник дифузійної води;
- сульфідатор;
- похила дифузійна установка;
- збірник дифузійного соку;
- збірник формаліну.

3. Станція дефекосатурації:

- ПДБМ;
- холодний дефекатор;
- підігрівач перед гарячим дефекатором;
- гарячий дефекатор;
- збірник продувок;
- перший сатуратор;
- збірник нефільтрованого соку першої сатурації;
- підігрівач нефільтрованого соку першої сатурації;
- відстійник першої сатурації;
- збірник суспензій першої сатурації;
- підігрівач перед дефекатором другої сатурації;
- дефекатор другої сатурації;
- другий сатуратор;
- відстійник другої сатурації;
- збірник соку перед випарною станцією.

4. Випарна станція:

- підігрівач перед випарною станцією (ВС);
- перший корпус ВС;
- другий корпус ВС;
- третій корпус ВС;
- четвертий корпус ВС;
- п'ятий корпус ВС;
- збірник нефільтрованого сиропу після ВС;
- підігрівач перед фільтрами;
- збірник фільтрованого сиропу;
- збірник сиропу перед вакуум апаратами.

5. Конденсатне господарство:

- перший збірник конденсату 1-го корпусу ВС;
- другий збірник конденсату 1-го корпусу ВС;
- третій збірник конденсату 1-го корпусу ВС;
- перший збірник конденсату 2-го корпусу ВС;
- другий збірник конденсату 2-го корпусу ВС;
- збірник конденсату 3-го корпусу ВС;
- збірник конденсату 4-го корпусу ВС;
- збірник конденсату 5-го корпусу ВС.

6. Продуктове відділення:

- вакуум-апарати (ВА) першого продукту;
- вакуум-апарати другого продукту;

- центрифуги;
- сушка цукру.

З більш ніж десяти типів модельних конструкцій UML-діаграм, що дають змогу розглядати систему під різними кутами зору, для відображення статички і динаміки системи використані основні типи діаграм: класів, яка показує статичну структуру системи; взаємодії, яка показує часову послідовність використання об'єктів; стану, що визначає послідовність станів об'єкта залежно від зовнішніх дій [6; 7].

Діаграма класів (class diagram) служить для подання статичної структури моделі і не залежить від часу (рис. 1). Визначає типи об'єктів системи і різні статичні зв'язки та відношення між ними. На діаграмі класів зображено прямокутник, що поділений горизонтальними лініями на три секції: верхня містить ім'я класу, середня — перелік атрибутів, нижня — перелік операцій. Для того, щоб побудувати цю діаграму, треба спочатку виділити в системі окремі відносно незалежні компоненти та визначити, яким чином вони взаємозв'язані.

Зберігання і підготовка	Дифузійне відділення	Станція дефекосатурації
+Кагатне поле +Мийка +Бурякорізка	+Відстійник ЖПВ +Збірник ЖПВ +Збірник бар-ї води +ПКП +Збірник диф-ї води +Сульфітатор +Пошила диф установка +Зб диф-го соку +Зб формаліну	+ПДБМ +Холодний дефекатор +Під-ч перед гар-м дефекатором +Гарячий дефекатор +Збірник продувок +І сатуратор +Зб неф-го соку I сатурації +Під-ч неф-го соку I сатурації +Відстійник I сатурації +Збірник суспензій I сатурації +Під-ч перед деф-м II сатурації +Дефекатор II сатурації +II сатуратор +Відстійник II сатурації +Збірник соку перед вип станцією
Дифузійне відділення	Конденсатне господарство	Продуктове відділення
+Під-ч перед ВС +Перший корпус ВС +Другий корпус ВС +Третій корпус ВС +Четвертий корпус ВС +П'ятий корпус ВС +Зб нефго сиропу після ВС +Під-ч перед фільтрами +Зб фільтрованого сиропу +Зб перед ВА	+I зб конд 1-го корпусу ВС +II зб конд 1-го корпусу ВС +III зб конд 1-го корпусу ВС +I зб конд 2-го корпусу ВС +II зб конд 2-го корпусу ВС +Зб конд 3-го корпусу ВС +Зб конд 4-го корпусу ВС +Зб конд 5-го корпусу ВС	+Вакуум апарати I продукту +Вакуум апарати II продукту +Центрифуги +Сушка цукру

Рис. 1. Діаграма класів електротехнологічного комплексу виробництва цукру

Часовий аспект перебігу процесу може мати істотне значення при моделюванні таких процесів, що описують взаємодії об'єктів. Саме для цієї мети в мові UML використовуються діаграми послідовності.

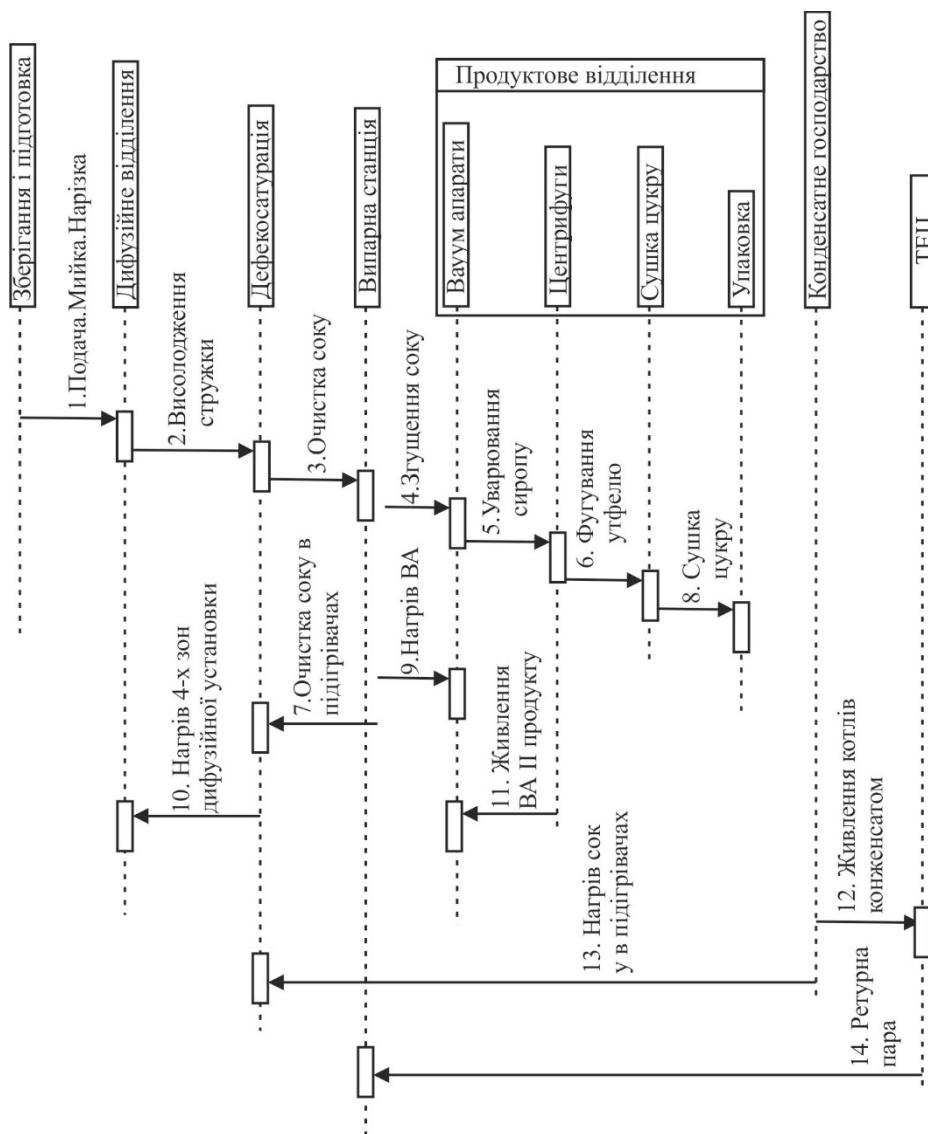


Рис. 2. Діаграма послідовності процесів при виготовленні цукру

Об'єкт є динамічним (рис. 2). За допомогою діаграми послідовності можна описати повний контекст взаємодій як своєрідний часовий графік «життя». Часові інтервали задаються технологічним регламентом. За допомогою цієї діаграми можливо проаналізувати часову послідовність стадій і операцій циклу та їхню залежність від характеристик обладнання й регламенту технологічного процесу.

Діаграма стану (state diagrams) призначена для опису станів об'єкта і умов переходу між ними (рис. 3). Опис станів дає змогу описати модель поведінки об'єкта при отриманні різних енергетичних потоків і взаємодії його з іншими.

Стан відповідає певному інтервалу часу в житті об'єкта і зображується прямокутником із закругленими кутами, який може мати одну або кілька секцій. У секціях наводиться ім'я стану, змінні стану, внутрішня поведінка тощо. Остання найчастіше містить такі дії: *entry* — дія на вході у стан; *exit* — дія на виході із стану.

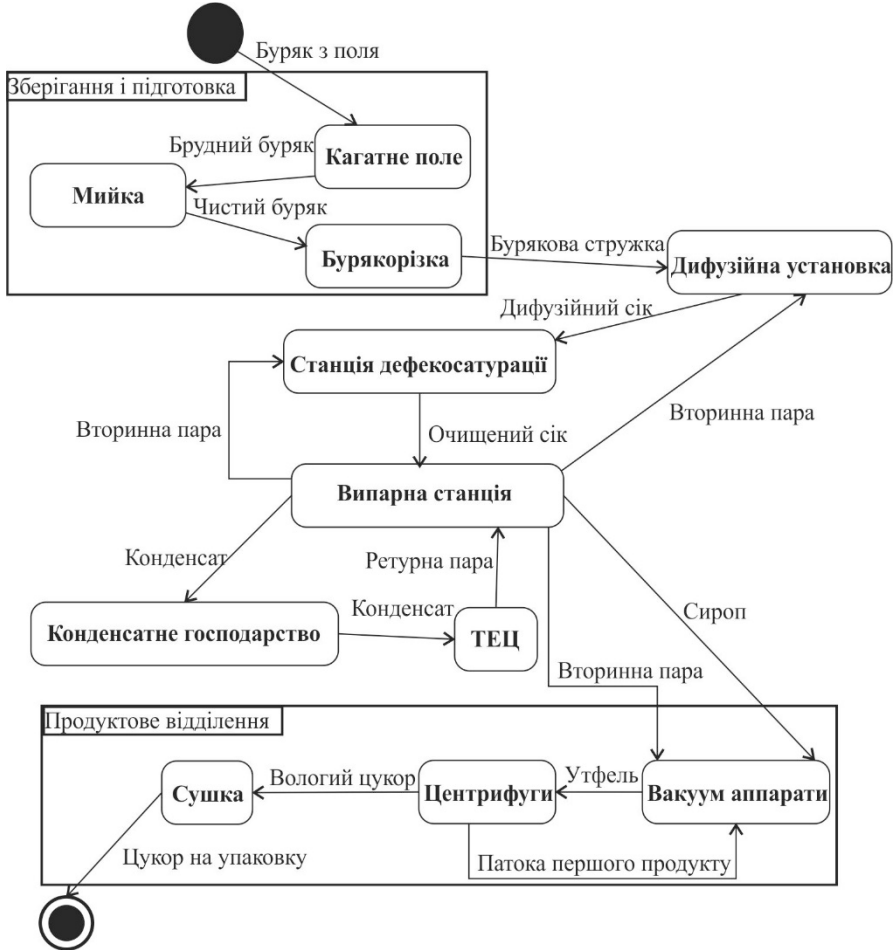


Рис. 3. Діаграма стану енергетичних потоків процесу виробництва цукру

Розроблені моделі електротехнологічного комплексу цукрового заводу у вигляді UML-діаграм дають змогу представити такий складний процес функціонування, як технологічний комплекс цукрового заводу, причому таким чином, щоб були помітні всі зв'язки між апаратами, теплові й енергетичні потоки між ними. А це, у свою чергу, допоможе швидше і якісніше змоделювати та реалізувати цей процес.

На основі отриманих статичних моделей і структури електротехнологічного комплексу виробництва цукру можна оцінити й обґрунтувати параметри (їхні

значення), які потрібно дослідити на виробничому об'єкті в контексті подальшого керування ними.

Висновки

Розроблений концептуальний опис електротехнологічного комплексу цукрового заводу дає змогу оцінити параметри, які необхідно дослідити на виробничому об'єкті в контексті подальшого керування ними.

Література

1. Obstawski P., Kozyrskyi V., Momotyuk V., Zaiets N. Energy efficient intellectual control system of the electro-technological complex of a bread-baking plant. *Annals of Warsaw University of Life Sciences*. 2017. № 70. P. 95—103.
2. Трегуб В. Г. Побудова математичної моделі автоматизованого апарата періодичної дії. *Харчова промисловість*. 2004. № 3. С. 165—169.
3. Чорна Ю. О., Трегуб В. Г. Моделювання періодичного процесу вирощування хлібопекарських дріжджів з використанням мови uml. *Енергетика і автоматика*. 2014. № 1. С. 115—123.
4. Клименко О. М., Трегуб В. Г. Математичне моделювання періодичних процесів в автоклавах з протитиском. *Наукові праці НУХТ*. 2014. Т. 20, № 6. С. 14—20.
5. Ладанюк А. П., Заєць Н. А., Власенко Л. О. Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів: монографія. Київ: Ліра-К, 2016. 312 с.
6. Буч Г., Рамбо Д., Якобсон И. Язык UML. Руководство пользователя. 2-е изд.: пер. с англ. Москва, 2006. 496 с.
7. Гома Х. UML. Проектирование систем реального времени, параллельных и распределенных приложений: пер. с англ. Москва, 2011. 704 с.

**AUTOMATED TECHNOLOGICAL COMPLEXES:
MODERN METHODS AND PROBLEMS OF ANALYSIS
AND SYNTHESIS. PART 2. EXAMPLES
OF IMPLEMENTATION AND THE PROBLEM
OF TECHNOLOGICAL RISKS**

A. Ladanyuk, L. Vlasenko, N. Lutska, Y. Smityuh, R. Boyko
National University of Food Technologies

Key words:

*Automated technological
complex
Risk
Efficiency
Process control*

Article history:

Received 14.07.2020
Received in revised form
28.07.2020
Accepted 11.08.2020

Corresponding author:

L. Vlasenko
E-mail:
vlasenko.lidia1@
gmail.com

ABSTRACT

This article is a consummation of study of the effectiveness of modern technological complexes (TC). In the first part the problem, comparison of traditional and modern approaches to the development of automated technological complexes (ATC) were analyzed and conclusions about the feasibility of using modern approaches to the construction of ATC were made.

The paper presents the results of risks that exist during the operation of the ATC and negative influence on the quality and efficiency of its functioning. For this, at the initial stage, a brief classification of existing risks and its brief assessment were given.

The main study is aimed at improving efficiency of ATC under the action of production risks, as its impact directly forms deviations from an optimal (selected or calculated) technological regulations, which reduce productivity of TC and product quality, significantly worsens technical and economic indicators.

The authors calculated efficiency, relationships and interactions between the following indicators of ATC operation: efficiency, management, actual value of the regulated variable and the magnitude of the risk. It was proposed to evaluate the latter on the basis of the direct dependence of the magnitude of risk and stability of the automatic control system (ACS). An integrated quadratic criterion and a risk assessment "Risk" indicator were chosen as the main criteria influencing the effectiveness of the experiments. In particular, the paragraph of the article "Design of ACS based on technological risk assessment" presents the results of modeling in the form of the dependence between efficiency, integrated quadratic criterion and risk. The obtained result is the basis for an operation of an optimization unit of an intelligent quality monitoring system of the ACS based on risk assessment, the structural scheme of which was given in the paper.

The conducted researches confirm an expediency of the chosen direction and is the basis for the authors' further work on the design and implementation of an effective management systems based on risk assessment and intelligent approaches.

АВТОМАТИЗОВАНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ КОМПЛЕКСИ: СУЧАСНІ МЕТОДИ, ЗАДАЧІ АНАЛІЗУ ТА СИНТЕЗУ. ЧАСТИНА 2. ПРИКЛАДИ РЕАЛІЗАЦІЇ І ПРОБЛЕМА ТЕХНОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ

А. П. Ладанюк, Л. О. Власенко, Н. М. Луцька, Я. В. Смітюх, Р. О. Бойко
Національний університет харчових технологій

Пропонована стаття є завершенням дослідження ефективності функціонування сучасних технологічних комплексів (ТК). У першій частині проведено аналіз проблеми, здійснено порівняння традиційних і сучасних підходів до розробки автоматизованих технологічних комплексів (АТК) та зроблено висновки щодо доцільності використання сучасних підходів до побудови АТК.

У другій частині наведено результати оцінки ризиків, що існують під час функціонування АТК і негативно впливають на якість та ефективність його роботи. Для цього на початковому етапі наведено коротку класифікацію існуючих ризиків і подано їхню коротку оцінку.

Основне дослідження направлено на підвищення ефективності роботи АТК при дії виробничих ризиків, оскільки їхній вплив безпосередньо формують відхилення від оптимального (обраного чи розрахованого) технологічного регламенту, що знижує продуктивність ТК та якість продукції, суттєво погіршує значення техніко-економічних показників.

Розраховано ефективність, взаємозв'язки та взаємовпливи між такими показниками функціонування АТК: ефективність, керування, дійсне значення регульованої змінної та величина ризику. Запропоновано проводити оцінку останнього на основі прямої залежності величини ризику і стійкості системи автоматичного регулювання (САР). Для проведення дослідів основними критеріями, що впливають на ефективність, обрано інтегральний квадратичний критерій і показник оцінки ризику Risk. Зокрема, в пункті статті «Проектування САР на основі оцінки технологічних ризиків» наводяться результати моделювання у вигляді залежності між ефективністю, інтегральним квадратичним критерієм і ризиком. Отриманий результат є основою для функціонування блоку оптимізації інтелектуальної системи моніторингу якості САР на основі оцінки ризиків, структурна схема якої наведена в статті.

Проведені дослідження підтверджують доцільність обраного напряму і є підставою для подальшої роботи авторів над проектуванням та впровадженням ефективних систем керування на основі оцінки ризиків та інтелектуальних підходів.

Ключові слова: автоматизований технологічний комплекс, ризик, ефективність, система автоматичного регулювання.

Постановка проблеми. В першій частині статті основна увага приділялась особливостям технологічних комплексів, зокрема таким характеристикам: надійність, безпечність, чутливість, стійкість, ієрархічність структури, кількість підсистем тощо. В результаті ефективність функціонування ТК визначається техніко-економічними показниками (прибуток, собівартість продукції, її якість, питомі

витрати енергетичних та матеріальних ресурсів тощо). В реальних умовах керування ТК відбувається в умовах невизначеності, які можуть мати різну природу та характеристики. На кожному рівні ієрархічної системи керування забезпечуються такі впливи на технологічні об'єкти, які безпосередньо реалізують енергетичні та ресурсоефективні алгоритми за допомогою автоматичних регуляторів з використанням робастних, адаптивних підходів і методів оптимізації технологічних режимів підсистем та їх координації, що забезпечуються показниками стійкості та якості перехідних процесів. У той же час автоматизовані технологічні комплекси за основними показниками та характеристиками відносяться до організаційно-технологічних систем (ОТС), які потребують комплексного підходу до формування керувальних дій на різних рівнях ієрархії, тобто існує об'єктивна необхідність здійснювати ефективне керування в умовах невизначеностей і ризиків. Ці комплексні показники мають різну природу (від прямих оперативних оцінок детермінованого характеру до ймовірнісних узагальнень). Виникла необхідність об'єднання оперативних показників (наприклад, відхилень від технологічного режиму) до узагальнених оцінок техніко-економічного характеру, які пов'язують якість керування (оперативність формування керувальних дій) з оцінками ризиків [1—3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За класифікацією виділяють внутрішні та зовнішні, тактичні та стратегічні ризики [4—6]. У [7] розглядається енергоефективна система управління, заснована на комплексних системах менеджменту й теорії ризиків. Визначено фактори, що погіршують якість, безпеку на робочому місці, енергоефективність тощо. У [8] особлива увага приділяється функціям стратегічного планування, оперативного планування, управління ризиками і засобам контролю.

У технічній літературі [9] активно розглядається підхід, застосований на суцільному використанні показників ефективності систем автоматизації та ризиків при її впровадженні й експлуатації, що може призвести до небажаних результатів. У першій частині статті зверталась увага на підхід, який активно розвивається — управління ризиками, що має зменшити (мінімізувати) втрати.

Метою статті є аналіз та оцінка ризиків, що впливають на АТК, зокрема виробничих і технологічних ризиків з подальшим виділенням найбільш суттєвих, а також визначення методик оцінки ризику та проектування САР на основі оцінки технологічних ризиків.

Викладення основних результатів дослідження. Розробка та впровадження й експлуатація систем автоматизації різного рівня і призначення супроводжується внутрішніми ризиками. В цьому класі на першому етапі доцільно виділити виробничі ризики (технологічні), які безпосередньо формують відхилення від обраного (оптимального, розрахункового) технологічного регламенту, що безпосередньо впливає на продуктивність ТК, якість продукції та формування техніко-економічних показників. Наприклад, для цукрових заводів існують такі узагальнені показники: коефіцієнт заводу, коефіцієнт використання потужності, витрата умовного палива, витрати праці на переробку 100 т буряків, які однозначно формують техніко-економічні показники заводу. Вони залежать від функціонування систем автоматизації та формування керувальних дій на різних рівнях управління. Передусім система автоматизації повинна забезпечувати стабілізацію або оперативне змінювання матеріальних потоків між підсистемами

ТК, забезпечуючи таким чином ефективне функціонування всього технологічного комплексу [9].

Для систем автоматизації нижнього рівня технологічні ризики виникають як наслідок імовірності втрат від таких чинників:

- недостатнього урахування та застосування методів сучасної теорії керування (адаптація, робастність, координація підсистем, прогнозування та діагностика, прецедентне та ситуаційне керування тощо);

- відсутність оптимізації параметрів системи, зокрема забезпечення значного запасу стійкості перехідних процесів, що призводить до зменшення точності регулювання та збільшення витрат енергетичних і матеріальних потоків;

- недостатня інформація про властивості об'єкта, відсутність можливостей компенсації (або суттєвого зменшення) збурень, запізнення, впливу перехресних зв'язків між регульованими координатами;

- імовірності виникнення збоїв, виходу з ладу технічних засобів і програмного забезпечення;

- відсутність цілеспрямованих дій переведення нештатних ситуацій у штатні за визначеними наперед алгоритмами.

Для багаторівневих структур виділяються окремі підсистеми технологічного моніторингу на основі ієрархічної декомпозиції якості, якими доповнюються системи автоматизації різного рівня. Загальний підхід для ОТС зв'язує надійність і ризики в багатокритеріальній задачі прийняття рішень. Ефективність керування визначається показником [3]:

$$ef = \max_{x \in P(u)} E(u), \quad (1)$$

де $x \in X$ — поточний стан ОТС; $P(u)$ — множина станів ОТС, яка залежить від коригувальної дії $u \in U$ так, що допустима множина U формує u для переведення системи в одну з точок множини $P(u)$. Вводиться на множині $X \times U$ скалярна функція $E(x, u) : X \times U$ (критерій функціонування системи, який добирає кожному значенню пари «стан-управління» дійсне число). Тоді критерій ефективності набуває вигляду:

$$ef = \max_{\substack{x \in P(u), \\ u \in U}} E(x, u), \quad (2)$$

Беручи до уваги, що стан системи залежить від управління та ризику, вводиться додатковий показник у функцію $P(u, Risk)$, а ефективність управління буде:

$$E(x, u, Risk) : X \times U \times Risk. \quad (3)$$

За аналогією з (1) можна записати:

$$ef = \max_{\substack{x \in P(u, Risk), \\ u \in U}} E(x, u, Risk), \quad (4)$$

Керувальний вплив $u \in U$ впливає на ефективність $E(u)$ та ризик $Risk(u)$, а двокритеріальна задача синтезу має вигляд:

$$\begin{cases} E(x, u) \rightarrow \max_{u, u \in U} \\ Risk(u) \leq Risk_0 \end{cases} \quad (5)$$

Або навпаки — мінімізація ризику при заданому рівні E_0 :

$$\begin{cases} Risk(u) \rightarrow \min_{u, u \in U} \\ E(u) \geq E_0 \end{cases} \quad (6)$$

У загальному випадку управління ризиком полягає в аналізі залежності оптимального рішення від необхідної інформації. Альтернативою є дослідження залежності оптимального рішення від значень невизначених параметрів (змінних) і пошуку рішення (розв'язку), оптимального в рамках наявної інформації про можливі (ймовірнісні) оцінки параметрів. Для ТК неперервного типу розроблено показник ефективності інтелектуальної системи керування [10] з урахуванням виявлених ризик-факторів на основі джерел ризикових подій у внутрішньому та зовнішньому середовищах функціонування АТК та їхнього впливу на показники функціонування.

Проектування САР на основі оцінки технологічних ризиків. Термін «ризик» у цьому розділі застосовується в контексті виникнення виключно негативних наслідків у вигляді відхилень показників якості продукту від установлених норм і, як наслідок, зниження властивостей продукції за рахунок нераціонального (неефективного) вибору структури та параметрів САР або за рахунок втрати цієї раціональності.

Для виявлення головного фактора, що впливає на ефективність керування нижнього рівня, проведено аналіз суттєвих причинно-наслідкових зв'язків між чинниками на основі діаграми Ісікави (рис. 1).

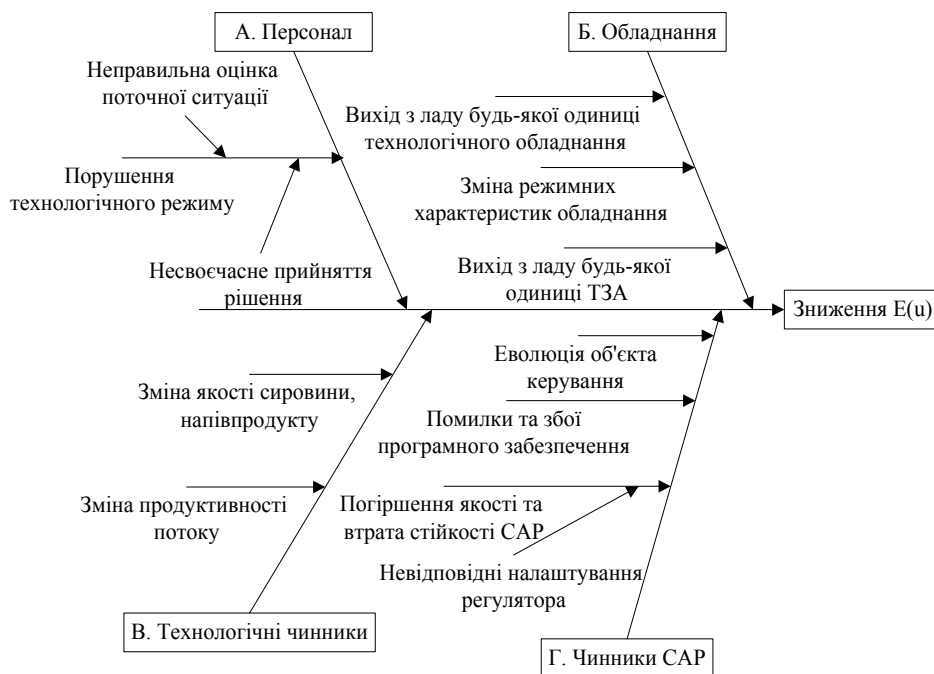


Рис. 1. Діаграма Ісікави

На рис. 2. наведена структурна схема системи моніторингу якості САР на основі оцінки ризиків, яка складається із САР, блоку оцінки ризику, блоку оцінки ефективності керування та блоку оптимізації.

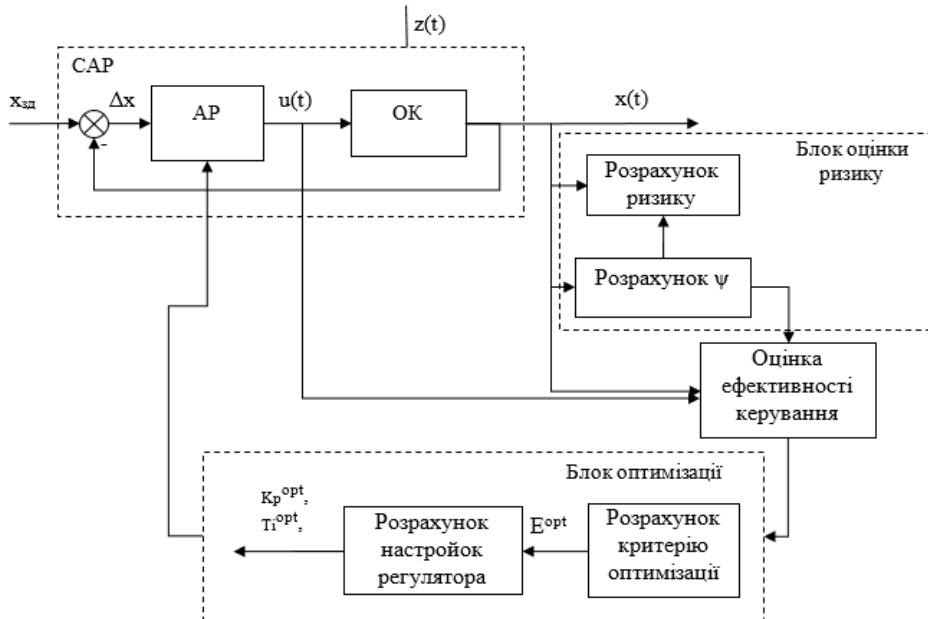


Рис. 2. Структурна схема системи моніторингу якості САР на основі оцінки ризиків

Ефективність роботи АТК безпосередньо залежить від ефективності роботи САР, зокрема ефективності керування. Щоб добитись максимальної ефективності керування, слід мінімізувати негативні фактори, що на неї впливають: ризики, відхилення від технологічного регламенту тощо. У блоці оцінки ризику на основі аналізу стійкості та якості САР за поточними значеннями технологічних змінних оцінюється ризик. Залежно від результату ризик може бути: несуттєвий, середній, суттєвий. Головна мета системи моніторингу — запобігти потраплянню ризику в стан «суттєвий», оскільки це призведе до втрати системою стійкості, а отже, до втрат, простоїв, передаварійних та аварійних ситуацій. У випадку, коли ризик несуттєвий і оцінка ефективності E знаходиться в допустимому діапазоні, САР продовжує працювати у штатному режимі. Якщо ж значення ризику стає «середнім», оцінка ефективності не відповідає заданому діапазону, то сигнал подається на блок оптимізації, в якому на основі розрахунку критерія оптимізації відбувається перенастроювання регулятора під нові умови роботи системи (на рис. 2, відповідно, K_p^{opt} , T_i^{opt} — оптимальні значення коефіцієнта регулювання та часу інтегрування, ψ — показник коливальності).

Наприклад, на рис. 3 наведено залежність ефективності $E(J, Risk)$, де $J(x, u)$ — нормована оцінка якості системи, а $Risk$ — оцінюється за допомогою одного з факторів (рис. 1), що призводить до втрати стійкості. Як видно із залежності, ефективність значно погіршується при $Risk > 0,2$, тобто необхідна корекція налаштувань регулятора.

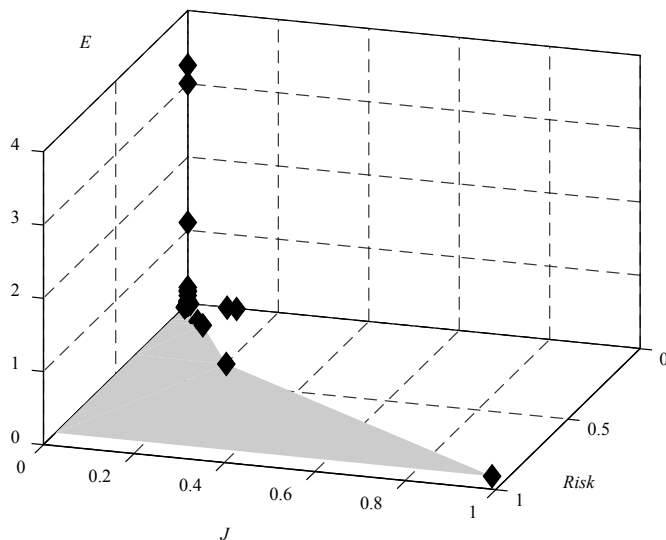


Рис. 3. Залежність ефективності САР від її якості та ризику

Висновки

1. При розгляді АТК як організаційно-технічної (технологічної) системи необхідно оцінювати не лише ефективність функціонування, а й показники, які характеризують ризики, тобто в комплексі «ефективність-ризик» необхідно визначити екстремальні показники за розв'язками оптимальних задач оптимізації.

2. При розробці та впровадженні систем автоматизації різного рівня та призначення завжди постає необхідність урахувати комплексні показники оцінки, насамперед при формуванні керувальних дій, які характеризуються невизначеностями та ризиками. Невизначеності характеризуються неточністю, неясністю, неконкретністю інформації та безпосередньо впливають на формування керувальних дій, а ризик пов'язаний з реалізацією цих дій в існуючих умовах.

3. При функціонуванні АТК першочерговим завданням є врахування технологічних ризиків як відхилень від технологічних режимів, зменшення техніко-економічних показників виробництва.

4. Ризик трактується як імовірність отримання запланованого результату, при цьому ризик і невизначеність мають однакову сутність та оцінюються в однакових одиницях (%). При цьому невизначеність може переходити в ризик при реалізації керувальних дій у конкретних умовах, а реалізація ризикованої керувальної дії може призводити до виникнення невизначеності.

5. Наведений приклад відповідає сучасним підходам теорії керування та направлений на підвищення ефективності функціонування і зменшення (мінімізації) ризиків при функціонуванні АТК.

Література

1. Ладанюк А. П., Заєць Н. А., Власенко Л. О. Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів (мережеві структури, адаптація, діагностика та прогнозування): монографія. К.: Видавництво Ліра-К, 2016. 312 с.

2. Луцька Н. М., Ладанюк А. П. Оптимальні та робастні системи керування технологічними об'єктами: монографія. К.: Видавництво Ліра-К, 2016. 288 с.
3. Прокопенко Т. О., Ладанюк А. П. Інформаційні технології управління організаційно-технологічними системами: монографія. Черкаси: Вертикаль, 2015. 223 с.
4. Aven T. Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. *EJOR* 2016, 253, 1—13.
5. Paraschivescu O. Risk management and quality management an integrate approach. *ETC* 2016, 19, 55—61. ISO. *ISO 50001:2018. Energy Management Systems — Requirements with Guidance for Use*; ISO/IEC: Geneva, Switzerland, 2018.
6. Poveda-Orjuela P., García-Díaz C. J., Pulido-Rojano A., Cañón-Zabala G. ISO 50001:2018 and Its Application in a Comprehensive Management System with an Energy-Performance Focus. *Energies*. 2019. 12. 4700. doi:10.3390/en12244700.
7. Al-Sakkaf S., Kassas M., Khalid M., Abido M. An energy management system for residential autonomous dc microgrid using optimized fuzzy logic controller considering economic dispatch. *Energies*. 2019. 12. 1457.
8. Михайловский И. А., Гун Е. И. Учёт технологических рисков при анализе качества продукции путём иерархической декомпозиции качества. *Качество в обработке материалов*. 2014. № 2. С. 33—38.
9. Ладанюк А. П., Луцька Н. М., Смітюх Я. В., Власенко Л. О., Сашньова М. В. Ефективність інтелектуальних систем керування технологічними об'єктами. Частина 1. Основні положення. *Харчова промисловість*. 2019. № 25. С. 141—147.

LOGICAL MODEL OF PERIODIC PROCESSES IN MASSECUITE VACUUM DEVICES WITH TWO-STAGE CRYSTALLIZATION

I. Bokoch, V. Tregub, O. Klumenko

National University of Food Technologies

Key words:

*UML
Vacuum apparatus
Modeling
Uterine massecuite
Crystallization*

Article history:

Received 13.07.2020
Received in revised form
27.07.2020
Accepted 10.08.2020

Corresponding author:

I. Bokoch

E-mail:

ua2d2ua@gmail.com

ABSTRACT

The article presents the developed logical model of a vacuum apparatus of periodic action (VAPA) with the process of two-stage crystallization in terms of the unified modeling language UML, which is an integral part of the unified software development process and is a broad profile language. UML uses graphical notation to create an abstract model of the system and is quite relevant today. This logical model makes it possible to visualize one of the most complex processes in the sugar industry — the process of sugar crystallization.

The article describes the principle of the combined VAPA operation during preparing uterine massecuite and, on its basis, massecuite of the 1st product. The article describes in detail the method of preparation of uterine massecuite and its advantages over the classic seed suspensions.

The developed logical model includes four main diagrams of the UML language: classes, which serves to represent the structure of the model; sequence that shows the sequence of objects during specific operation; state that shows the sequence of states in which an object may find itself depending on external events and the object's response to those events; activities that are designed to describe changes in the state of the object under the influence of internal predefined actions. To build this logical model, a parametric logical-dynamic model of the vacuum apparatus created in tabular form with a list of cycle operations, conditions of their beginning and control actions was used.

As a result, the work described in this article will provide a clearer understanding of the processes occurring in VAPA with non-stationary form factor during the preparation of uterine massecuite and the first product which is based on the massecuite. Also it will simplify further work in the study of two-stage crystallization process and development of automation systems for the above process.

ЛОГІЧНА МОДЕЛЬ ПЕРІОДИЧНИХ ПРОЦЕСІВ В УТФЕЛЬНИХ ВАКУУМ-АПАРАТАХ З ДВОЕТАПНОЮ КРИСТАЛІЗАЦІЄЮ

І. В. Бокоч, В. Г. Трегуб, О. М. Клименко

Національний університет харчових технологій

У статті представлено розроблену логічну модель вакуум-апарата періодичної дії (ВАПД) з процесом двоетапної кристалізації в термінах уніфікованої мови моделювання UML (Unified Modeling Language), що є невід'ємною частиною уніфікованого процесу розробки програмного забезпечення і мовою широкого профілю. Це відкритий стандарт, що використовує графічні позначення для створення абстрактної моделі системи. Така логічна модель дає змогу наочно відобразити один із найскладніших процесів у цукровій промисловості — процес кристалізації цукру.

Описано принцип роботи комбінованого ВАПД при варінні маточного утфелю та, на його основі, утфелю першого продукту. Також детально описано метод підготовки маточного утфелю і наведено його переваги над класичними затравками та затравними суспензіями.

Розроблена логічна модель включає чотири основні діаграми мови UML: класів, що слугує для подання структури моделі; послідовності, що показує послідовність об'єктів під час виконання певної операції; стану, що показує послідовність станів, в яких може опинитися об'єкт залежно від зовнішніх подій і реакції об'єкта на ці події; діяльності, яка призначена для опису зміни стану об'єкта під дією внутрішніх наперед визначених дій. Для побудови логічної моделі використана створена в табличній формі параметрична логіко-динамічна модель вакуум-апарата з переліком операцій циклу, умовами їх початку та керуючими діями.

Запропонована логічна модель дасть змогу більш наочно зрозуміти процеси, що відбуваються у ВАПД з нестационарним форм-фактором під час підготовки маточного утфелю і на його основі утфелю першого продукту та спростить подальші дослідження двоетапного процесу кристалізації і розробку систем автоматизації для вищенаведеного процесу.

Ключові слова: UML, вакуум-апарат, моделювання, маточний утфель, кристалізація.

Постановка проблеми. У багатьох регіонах світу, особливо в Європі, в наш час спостерігається трансформація цукрової промисловості, спрямована на підвищення ефективності роботи цукрових заводів і цукрової галузі в цілому. Окрім того, очікується, що компанії, які займаються виробництвом цукру, як і багато інших хімічних компаній, будуть усе більше прагнути стати більш екологічними та енергоефективними, оскільки вони розуміють, що можуть зменшити забруднення та збільшити прибутки одночасно. Одним із найбільш енергозатратних етапів у виробництві цукру є варіння утфелю з метою подальшого нарощування вже існуючих кристалів і саме тому цей етап потребує детального вивчення та дослідження [1; 2].

Надійно працювати з високими концентраціями, отримуючи високоякісний утфель першої кристалізації, дає змогу відносно новий метод двоетапної кристалізації з використанням маточного утфелю, широко розповсюджений на цукрових заводах Німеччини, Великої Британії та інших країн [3].

Підготовка маточного утфелю включає три етапи:

- попередня підготовка кристалічної суспензії для внесення затравки;
- одержання кристалічної основи із середніми розмірами кристалів 0,1...0,13 мм при охолодженні;
- нарощування кристалів основи при випарюванні в окремому вакуум-апараті до середнього розміру кристалів 0,3 мм.

Маточний утфель (МУ) для першої кристалізації повинен відповідати особливим вимогам, тому метод його підготовки достатньо складний і вимагає додаткового обладнання. Ідея полягає в тому, що процес початкового кристалоутворення та закріплення кристалів виділяється із циклу отримання утфелю в окремий процес підготовки маточного утфелю (МУ).

Процес підготовки МУ полягає в тому, що сироп в апараті доводиться до концентрації $CP\ 75\text{—}76\%$, а потім охолоджується до температури близько 50°C . При досягненні температури 50°C пересичення досягає величини 1,1 і в апарат подається підготовлена затравна паста або пудра. Після охолодження отриманого продукту розмір кристалів досягає приблизно 0,1—0,13 мм. Таку кристалічну затравку може бути безпосередньо використано для одержання дрібнокристалічного утфелю або він проходить подальшу обробку у вакуум-апараті, де розмір кристалів доводиться до 0,3 мм. Кристалічна затравна суспензія по трубопроводах замкненого контуру з прийомної мішалки насосом подається в напірну мішалку, а звідти вже — у ВАПД.

Створення якісної кристалічної затравки, хоч і є досить складним етапом, проте сприяє значному полегшенню процесу кристалізації, оскільки критичні фази утворення й початкового нарощування кристалів відбуваються відокремлено від процесу приготування кінцевого продукту.

Незважаючи на відносну складність одержання маточного утфелю, він має високі якісні показники (рівномірність кристалів, відсутність конгломератів), що дає змогу збільшити продуктивність ВАПД, використовувати сиропи високої концентрації, зменшити споживання пари та збільшити вихід кристалічного цукру з утфелю за рахунок більшої рівномірності кристалів, що сприяє зменшенню затрат води на пробілювання.

Виробничі дослідження показують, що впровадження такого способу уварювання утфелю забезпечує збільшення виходу кристалічного цукру з утфелю, зменшення витрат води на пробілювання та витрат палива. Розрахунки показують, що застосування такого способу дає змогу на 20—30% збільшити продуктивність ВАПД I продукту та на 10—15% — II і III продуктів, зменшити витрати електроенергії в кристалізаційному відділенні, а також втрати цукру від термічного розкладу.

Автоматизоване керування апаратами періодичної дії (АПД) передбачає використання логіко-динамічних структур при побудові як математичних моделей цих апаратів, так і систем керування ними [4]. Однак залишається невирішеним завдання побудови автоматизованої логіко-динамічної системи управління двоетапним процесом періодичної кристалізації утфелю першого продукту на основі логіко-динамічної моделі цього об'єкта.

Мета дослідження: розробити логічну модель управління періодичними процесами в утфельних вакуум-апаратах першого продукту з двоетапною кристалізацією як основу для подальшого створення автоматизованої системи управління цим об'єктом.

Викладення основних результатів дослідження. Одним із ефективних інструментів для побудови логічних моделей гібридних систем є уніфікована мова моделювання UML (Unified Modeling Language) [5]. Для опису в термінах UML періодичних процесів вакуум-апарата, в якому як початковий компонент використовується маточний утфель, візьмо за основу комбінований вакуум-апарат першого продукту та маточного утфелю, спрощена технологічна схема якого представлена на рис. 1, оскільки саме така технологія зараз найбільш поширена на цукрових підприємствах.

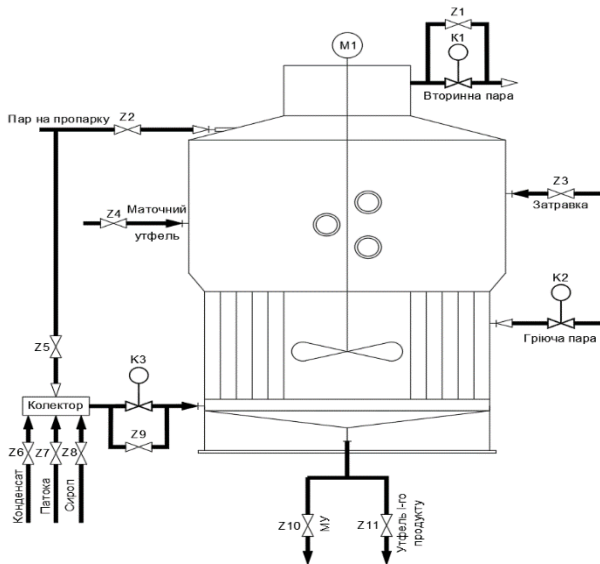


Рис. 1. Комбінований вакуум-апарат першого продукту і маточного утфелю

Таблична параметрична логіко-динамічна модель (ЛДМ) такого ВАПД представлена в табл. 1.

Таблиця 1. Параметрична ЛДМ ВАПД

Операції циклу	Логічні умови	Керуючі дії
1	2	3
1. Перевірка готовності апарата	$L2 \geq L2min$; $L1=0$; $Z1, \dots, Z11=0$; $K1, \dots, K3=0\%$	
2. Створення розрідження в апараті		$Z1=1$
	$P1 \leq P1min$	$K1=100\%$
3. Набір сиропу в апарат	$Timer\ 1 > \tau 1$	$Z8=1$; $Timer1$
		$K3:=100\%$; $Z9=1$
4. Згущення сиропу	$L1 \geq L1min$	
	$L1=L1^*$; $P1=P1^*$; $P2=P2^*$	$K3(L1)$; $Z1=0$, $Z9=0$; $K1(P1)$; $K2(P2)$

Продовження таблиці 1

1	2	3
5. Заведення кристалів	$\alpha \geq \alpha^*$	Z3=1; Timer2
	Timer2 $\geq \tau_2$	Z3=0,
6. Закріплення кристалів		Timer 3
	Timer 3 $\geq \tau_3$	K3(Q1)
7. Варка МУ	L1=L1*; P1=P1*; P2=P2*	Z8=0; Z7=1; K2(P2); K1(P1)
	L1=L1max; Q1=Q1*	Z6=1; K3(Q1); K1, K2,=100%,
8. Вивантаження МУ		Z1=1; K1=0%, Timer 4
	Timer 4 $\geq \tau_4$	Z1=0; Z2=1
	P1 $\geq P1^*$	Z10=1; Timer 5
9. Пропарка апарата	Timer 5 $\geq \tau_5$; L1 < 5%	Z5=1; K3=100%; Timer 6
	Timer 6 $\geq \tau_6$,	Z2=0; Z5=0; K3=0%
10. Перевірка готовності апарата	L2 $\geq L2_{min}$; L1=0; Z1,...,Z11=0; K1,...,K3=0%	
11. Створення розрідження в апараті		Z1=1
	P1 $\leq P1_{min}$	K1=100%,
12. Набір сиропу в апарат		Z8=1; Timer7
	Timer 7 $\geq \tau_7$	K3:=100%, Z9=1
13. Згущення сиропу	L1 $\geq L1_{min}$	
	L1=L1*; P1=P1*; P2=P2*	K3(L1); Z1=0; Z9=0; K1(P1); K2(P2)
	2	3
	$\alpha \geq \alpha^*$	Z4=1,
	V1 $\geq V1^*$	Z4=0,
		Timer 8
	Timer 8 $\geq \tau_8$	K3(Q1)
	L1=L1*; P1=P1*; P2=P2*	Z8=0; Z7=1; K2(P2); K1(P1)
	L1=L1max; Q1=Q1*	Z6=1; K3(Q1); K1, K2=100%; Timer 9
	Timer 9 $\geq \tau_9$	Z1... Z11=0; K2, K3=0%
		Z1=1; K1=0%; Timer 10
	Timer 10 $\geq \tau_{10}$	Z1=0, Z2=1
	P1 $\geq P1^*$	Z10=1; Timer 11
Timer 11 $\geq \tau_{11}$; L1 < 5%	Z5=1; K3=100%; Timer 12	
Timer 12 $\geq \tau_{12}$,	Z2=0; Z5=0; K3=0%	

Примітка: У таблиці використано такі умовні позначення:

Z1 — заслінка створення розрідження; Z2 — заслінка пари на пропарку апарата; Z3 — заслінка вводу затравки; Z4 — заслінка вводу МУ; Z5 — заслінка пари на пропарку колектора; Z6 — заслінка подачі води в колектор; Z7 — заслінка подачі патоки в колектор; Z8 — заслінка подачі сиропу в колектор; Z9 — заслінка подачі продукту в апарат; Z10 — заслінка вивантаження МУ; Z11 — заслінка вивантаження першого продукту; K1 — клапан створення розрідження; K2 — клапан граючого пару; K3 — клапан подачі продукту в апарат; L1 — рівень в апараті; L2 — рівень у збірнику сиропу; T1 — температура утфелю; P1 — розрідження в апараті; P2 — тиск у граючій камері; V1 — об'єм подачі МУ в апарат; Q1 — концентрація сухих речовин; α — коефіцієнт пересичення; Timer (i) — таймер;

P1(i) — величина розрідження, задана в режимній карті для певного етапу процесу варіння; P2(i) — величина тиску в граючій камері, задана в режимній карті для певного етапу процесу варіння; V1(i) — величина об'єму подачі МУ в апарат, задана в режимній карті для певного етапу процесу варіння; L1(i) — величина рівня в апараті, задана в режимній карті для певного етапу процесу варіння; L2(i) — величина рівня в збірнику сиропу, задана в режимній карті для певного етапу процесу варіння; Q1(i) — величина концентрації сухих речовин, задана в режимній карті для певного етапу процесу варіння; T1(i) — величина температури утфелю, задана в режимній карті для певного етапу процесу варіння.

Враховуючи багатостадійність технологічного процесу, була проведена декомпозиція системи на кілька частин, кожна з яких відповідатиме за керування технологічним процесом на певній стадії чи конкретній операції, тобто процес було поділено на окремі кроки, тісно пов'язані між собою. Перший — підготовка апарата до варки МУ, другий — створення вакууму, третій — набір сиропу, четвертий — згущення сиропу, п'ятий — заведення кристалів, шостий — варка МУ, сьомий — вивантаження МУ, восьмий — підготовка апарата до варіння першого продукту, дев'ятий — створення вакууму, десятий — набір сиропу, одинадцятий — згущення сиропу, дванадцятий — введення МУ, тринадцятий — варка утфелю, чотирнадцятий та п'ятнадцятий — уварювання та вивантаження відповідно.

З більш ніж десяти типів модельних конструкцій UML-діаграм, що надають можливість розглядати систему під різними кутами зору, в дослідженні для відображення системи використано такі основні типи діаграм:

- класів, яка показує структуру системи;
- взаємодії, яка відображає часову послідовність використання об'єктів;
- стану, що визначає послідовність станів об'єкта залежно від зовнішніх подій;
- діяльності, що описує змінення стану об'єкта залежно від внутрішніх дій.

Діаграма класів (рис. 2, рис. 2.1) служить для подання структури моделі і не залежить від часу. Вона визначає типи об'єктів системи і різні зв'язки та відношення між ними. На цій діаграмі клас зображено у вигляді прямокутника, що поділений горизонтальними лініями на три секції: верхня містить назву стадії (операції), середня — перелік атрибутів-функцій, що керують вхідними і вихідними потоками, тобто датчики та стан виконавчих механізмів (ВМ) і завдання на них; нижня — перелік операцій, що описують поведінку об'єктів класу (операції, що виконуються під час конкретної стадії) [6]. Для того, щоб побудувати цю діаграму, спочатку виділяють у системі окремі, відносно незалежні компоненти, а потім визначають, яким чином вони взаємозв'язані.

Двома основними компонентами комплексу, що розглядається, є ВАПД і контролер. Контролер надсилає об'єкту сигнали керування заслінками (Z(i)), клапанами (K(i)) та мішалкою M1. Для правильного керування об'єктом контролеру необхідно врахувати значення рівня в апараті (L1) та збірнику сиропу (L2), температури (T1), розрідження (P1), тиску (P2), вмісту сухих речовин (Q1), інтервалів часу та інших параметрів. Контролер представлений окремим класом PLC, який містить атрибути. До атрибутів віднесені вхідні сигнали з датчиків, сигнали на відкриття (закриття) або ввімкнення (вимкнення) виконавчих механізмів. Об'єкт представлений класом Апарат, атрибутами якого є функції, що керують вхідними та вихідними потоками.

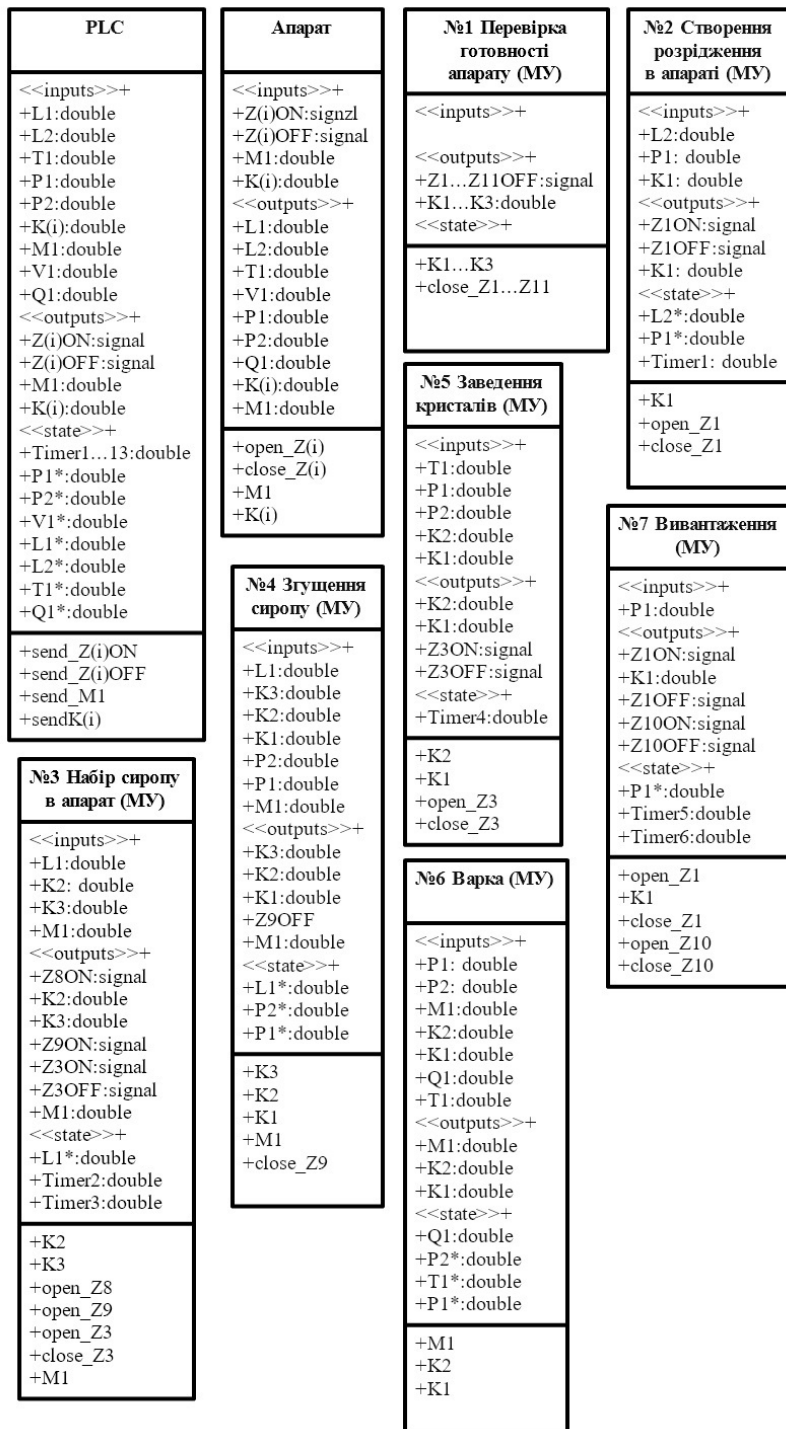


Рис. 2. Діаграма класів, частина 1

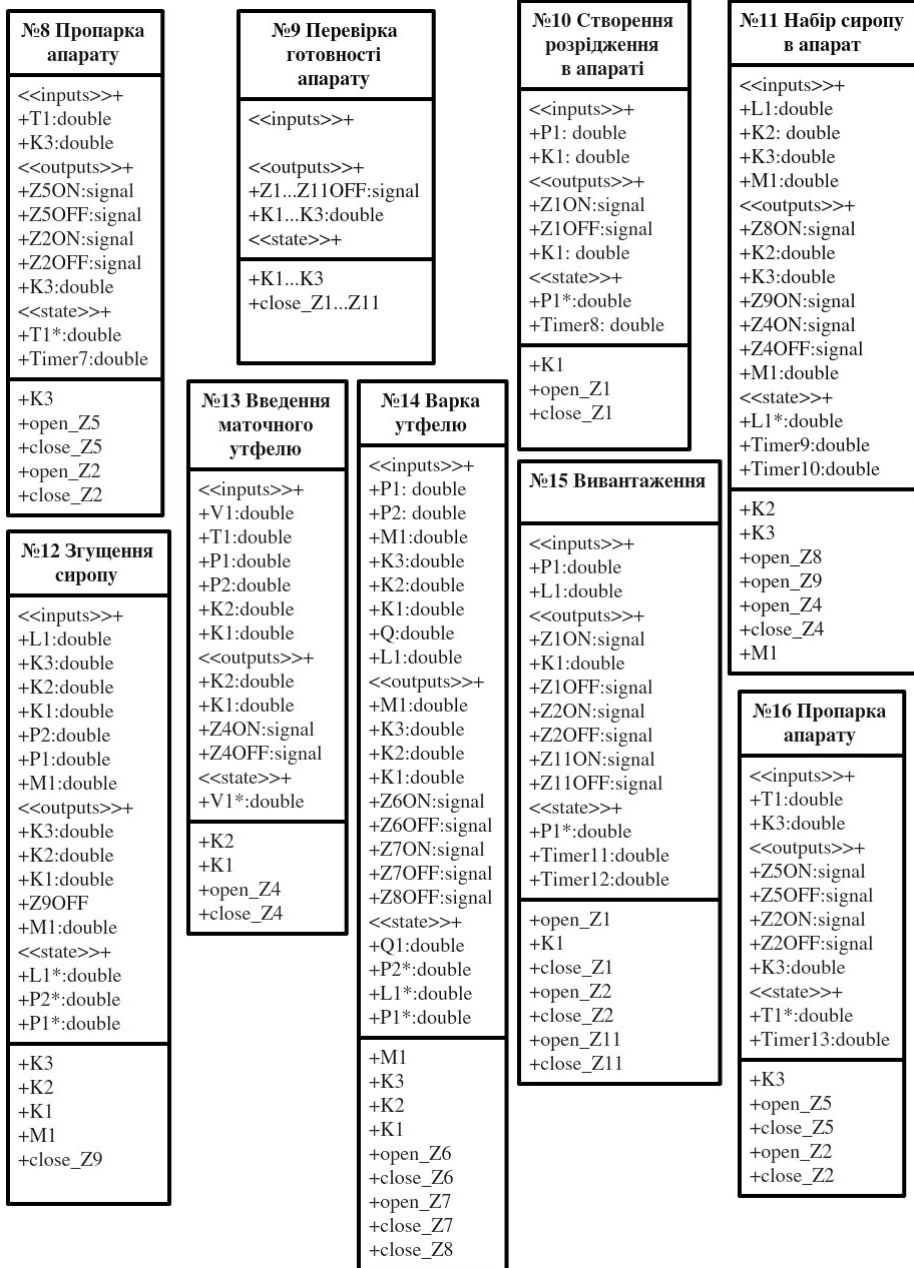


Рис. 2.1. Діаграма класів, частина 2

Для прикладу, стадія «Створення розрідження в апараті» містить такі атрибути:

- входи: L2 — рівень у збірнику сиропу; P1 — розрідження у ВАПД; K1 — положення регулюючого органа (РО) клапана подачі продукту у ВАПД;

- виходи: Z1ON, Z1OFF — сигнали на відкриття та закриття заслінки створення розрідження у ВАПД; K1 — завдання для регулюючого органа (РО) клапана створення розрідження у ВАПД;

- задані величини: P1* — мінімальне розрідження у ВАПД для виконання певної умови переходу; Timer 1 — таймер для виконання певної умови переходу.

Також стадія «Створення розрідження в апараті» передбачає такі операції: K1 — зміна положення (РО) клапана створення розрідження у ВАПД; open_Z1, closet_Z1 — відкриття та закриття, відповідно, заслінки створення розрідження у ВАПД.

Діаграма послідовності (рис. 3, рис. 3.1) показує, в якій послідовності з'являються об'єкти при виконанні якоїсь операції і який потік інформації виникає при цьому. Діаграма послідовності описує повний цикл роботи вакуум-апарата з часовими інтервалами, що задаються регламентом. За допомогою цієї діаграми можливо проаналізувати часову послідовність стадій і операцій циклу при його програмній реалізації. Вертикальні прямокутники під апаратом показують стадії та операції життєвого циклу, що відбуваються протягом одного часового інтервалу. Наприклад, п'ята стадія «Заведення кристалів» існує в часі, в якому відбуваються такі дії: відкриття та закриття заслінки «подачі затравки в апарат» Z3 і керування клапаном створення розрідження в ВАПД K1 та клапаном подачі пари K2.

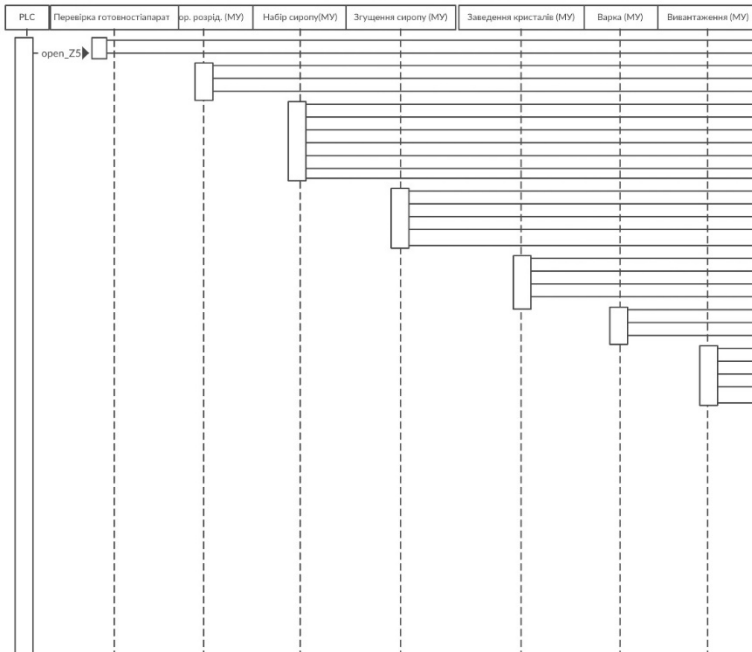


Рис. 3. Діаграма послідовності, частина 1

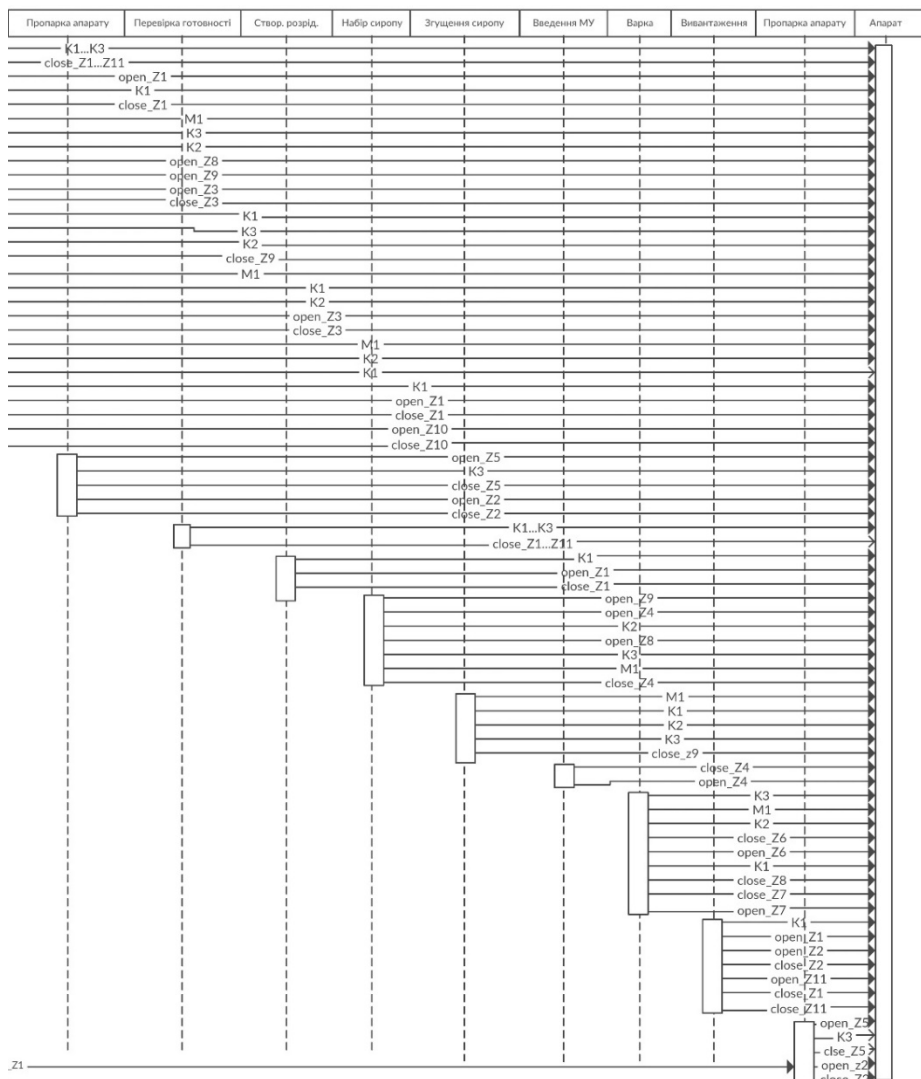


Рис. 3.1. Діаграма послідовності, частина 2

Діаграма стану (рис. 4) показує послідовність станів, в яких може опинитися об'єкт залежно від зовнішніх подій і реакції об'єкта на ці події. Стан позначається Wait і відповідає певному інтервалу часу в житті ВАПД. Він зображений прямокутником із закругленими кутами, який має дві секції. В них наводиться ім'я стану і змінні стану та внутрішня поведінка. Остання найчастіше містить такі дії: entry — дія на вході у стан; exit — дія на виході зі стану.

Для класу PLC розроблена діаграма стану (рис. 4). Фактично в цьому разі стан характеризує ситуацію очікування під час інтервалів часу, які починаються змінною положення виконавчих органів (Send). Так, при очікуванні системи, в проміжку стадії 10, система на вході відкриває заслінку створення розрідження в ВАПД Z1 і дає завдання на клапан створення розрідження в ВАПД K1, а при

виході з цього проміжку закриває заслінку Z1. Діаграма стану може бути використана для мінімізації тривалості циклу ВАПД.

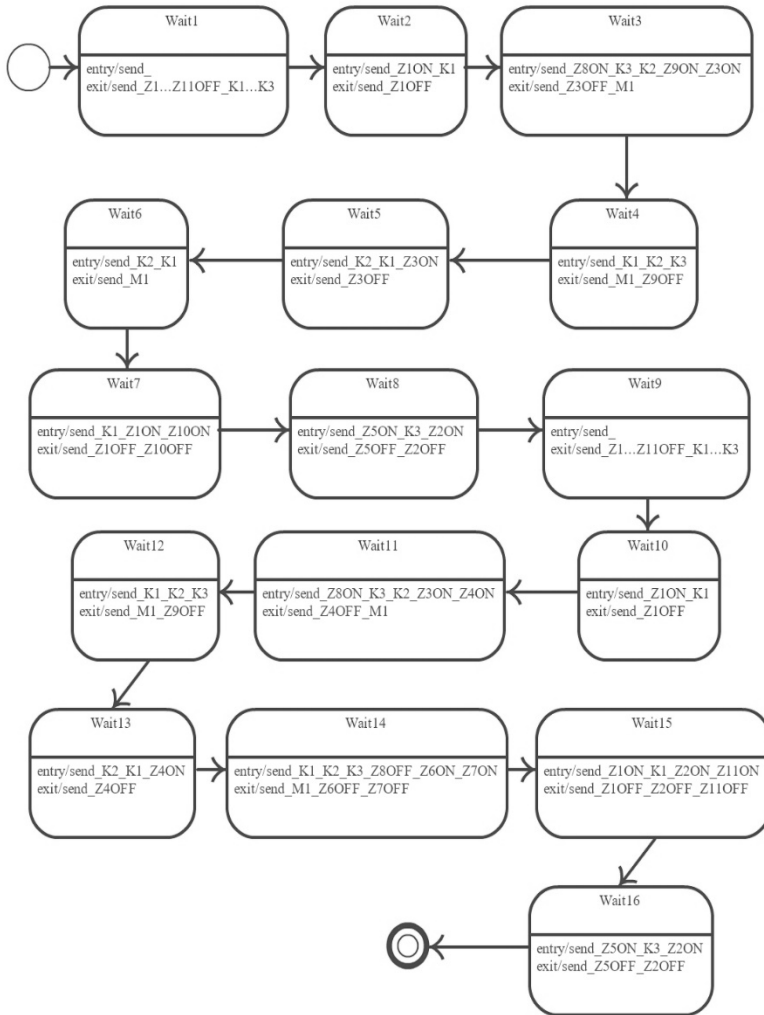


Рис. 4. Діаграма стану

Діаграма діяльності (рис. 5, рис. 5.1) призначена для опису зміни стану об'єкта під дією внутрішніх, наперед визначених дій. На відміну від діаграми стану основним елементом цієї діаграми є дія. Для цієї мети було використано блок-схеми або структурні схеми алгоритмів. Кожна дія на діаграмі відповідає виконанню певної операції, перехід до наступної дії спрацьовує тільки при завершенні операції попередньої дії. Ця діаграма фактично є алгоритмом логічного керування вакуум-апарата. Біля стрілок записують умови переходу до кожної наступної дії [7]. Наприклад, під час операції «Набір сиропу» для того, щоб змінився командний сигнал на клапан подачі продукту в апарат K1 і відкрилася заслінка «швидкого набору апарата», повинна виконатися умова

Тимер 3, тобто повинно пройти 5 с після відкриття заслінки подачі сиропу в колектор Z8.

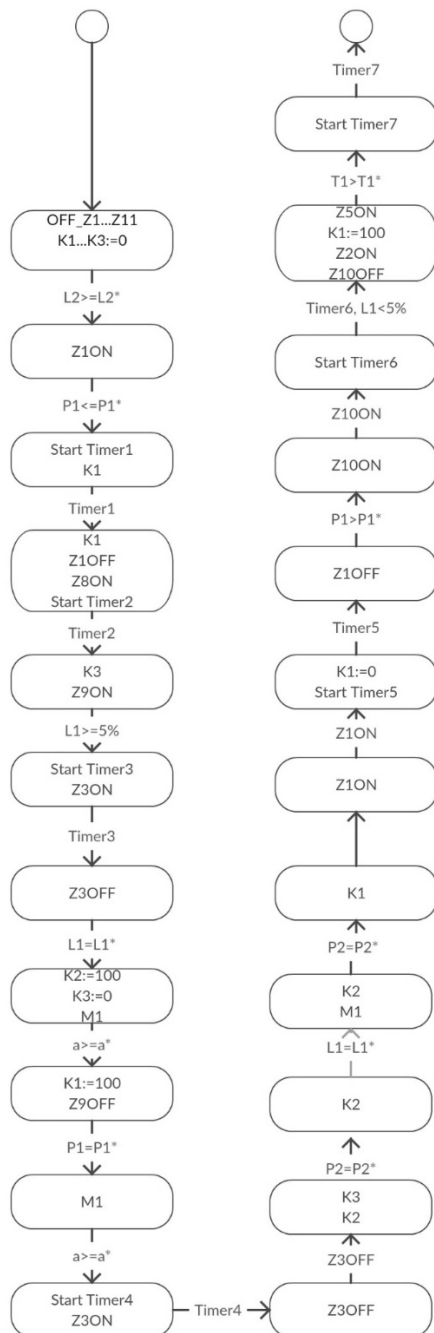


Рис. 5. Діаграма діяльності, частина 1

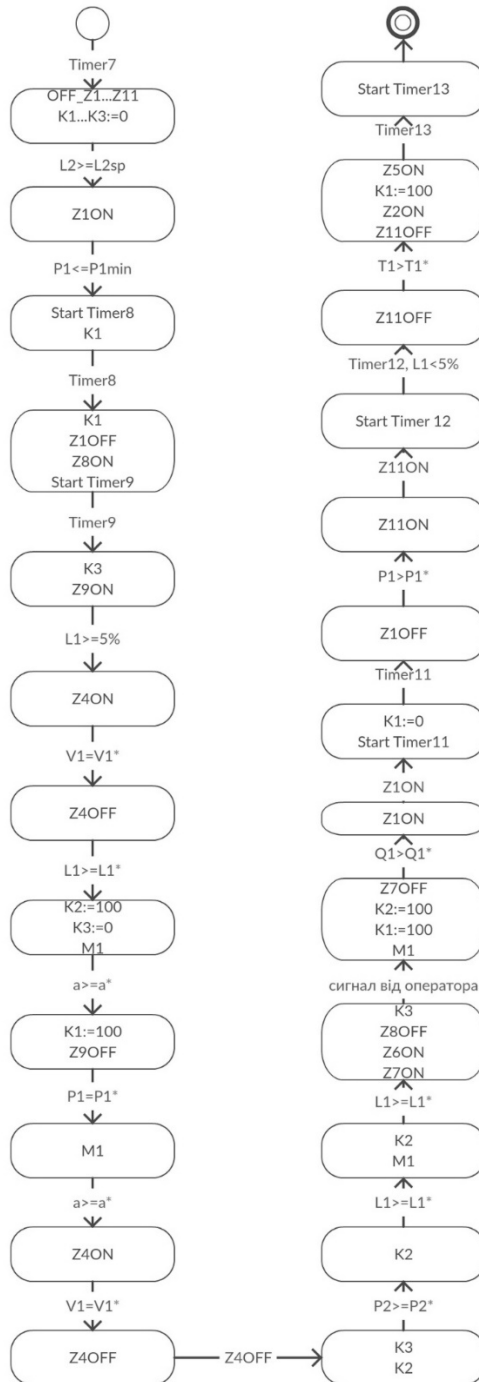


Рис. 5.1. Діаграма діяльності, частина 2

Вищезгадані діаграми дають змогу наочно моделювати такий складний процес, як варіння утфелю, причому таким чином, щоб були визначені всі зв'язки як

між апаратом та контролером, так і безпосередньо всередині самого апарата. А це, у свою чергу, допомагає більш швидко і якісно дослідити та реалізувати процес і надає можливість його дослідження без безпосереднього втручання у виробництво.

Висновок

Розроблена в термінах UML логічна модель періодичної двоетапної кристалізації першого продукту є алгоритмічною основою створення програмного забезпечення автоматизованої системи керування вакуум-апаратами, що реалізують цей процес.

Література

1. Gillian Eggleston Future Sustainability of the Sugar and Sugar — Ethanol Industries. December 2010. ACS Symposium Series 1058:1-19.
2. Lauret P., Boyer H., Gatina J. C. Hybrid modelling of a sugar boiling process. March 2000. *Control Engineering Practice*. 8(3):299-310.
3. Петриченко І. Б., Резніченко Ю. М. Інноваційні технології галузі: курс лекцій для студентів спеціальності 7.05170111 «Технології цукру та полісахаридів» денної та заочної форми навчання. Київ: НУХТ, 2013. 174 с.
4. Трегуб В. Г. Автоматизация периодических процессов в пищевой промышленности. Київ: Техніка, 1982. 160 с.
5. Бенькович Е. С., Колесов Ю. Б., Сеніченков Ю. Б. Практическое моделирование динамических систем: учеб. пособ. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2002. 444 с.
6. Зачем нам UML? Или как сохранить себе нервы и время. URL: <https://habr.com/ru/post/458680>.
7. Диаграмма активностей (Activity diagram). URL: https://flexberry.github.io/ru/fd_activity-diagram.html.

BIOCONVERSION OF WASTE OIL TO MICROBIAL EXOPOLYSACCHARIDE ETHAPOLAN FOR ENVIRONMENTAL TECHNOLOGIES

A. Voronenko, M. Yarosh, T. Pirog

National University of Food Technologies

Key words:

Acinetobacter sp.
IMV B-7005 exopoly-
saccharides
Ethapolan
Biosynthesis
Mixture of sodium acetate
or molasses with waste
sunflower oil

Article history:

Received 20.07.2020
Received in revised form
10.08.2020
Accepted 25.08.2020

Corresponding author:

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

ABSTRACT

The possibility of using such waste for the synthesis of exopolysaccharide ethapolan (produced by *Acinetobacter sp. IMV B-7005*) was shown. However, the concentration of the polysaccharide when it was cultivated on waste was low. One of the approaches to the intensification of synthesis is using a mixture of waste oil with other substrates, that was the aim of this work.

The amount of synthesized polysaccharide was determined by the gravimetric method after precipitation of isopropanol. EPS-synthesizing ability was defined as the ratio of the number of synthesized polysaccharide to biomass and expressed in gEPS/g biomass.

The possibility of the synthesis of ethapolan by strain *IMV B-7005* on a mixture of waste oil of different quality (after frying of potatoes, meat, vegetables, mixed) in the mixture with molasses was determined. Under these conditions indicators of the synthesis of ethapolan were 1.4—2.5 times higher compared to the cultivation of producer on waste oil monosubstrate. Further replacement of molasses in the mixture with oil on sodium acetate led to the increase of a pH of the culture liquid to 8.0—9.0 and the significant decrease of indicators of the ethapolan synthesis. To stabilize the pH on a level, optimum for the synthesis of EPS, a content of an alkaline component in the medium was reduced, as well as a fractional addition of substrates was carried out. Under these cultivation conditions indicators of the ethapolan synthesis were 1.7 times higher compared to results obtained without fractional substrates addition, and the concentration of the synthesized polysaccharide was more than 17 g/l.

Based on an experimental data the cost of the nutrient medium for the ethapolan synthesis on the mixture of cheap and available substrates (the mixture of mixed waste oil with molasses or acetate) for washing tanks from residues of oil and oil products JSC “Ukrzaliznytsia” was calculated, that is the basis for the development of a universal ecologically safe wasteless technology of its production independent of the quality, type, and supplier of waste oil.

БІОКОНВЕРСІЯ ВІДПРАЦЬОВАНОЇ ОЛІЇ В МІКРОБНИЙ ЕКЗОПОЛІСАХАРИД ЕТАПОЛАН ДЛЯ ПРИРОДООХОРОННИХ ТЕХНОЛОГІЙ

А. А. Вороненко, М. Б. Ярош, Т. П. Пирог

Національний університет харчових технологій

У статті показано можливість використання відпрацьованих олій у біотехнологічному виробництві, зокрема для синтезу екзополісахариду етаполану (продуцент — *Acinetobacter* sp. ІМВ В-7005). Однак концентрація полісахариду при культивуванні на відходах була невисокою. Одним зі шляхів інтенсифікації синтезу є використання суміші відпрацьованої олії з іншими субстратами.

Кількість синтезованого полісахариду визначали ваговим методом після осадження ізопропанолом. ЕПС-синтезувальну здатність визначали як відношення кількості синтезованого полісахариду до біомаси та виражали у гЕПС/г біомаси.

Встановлено можливість синтезу етаполану штамом ІМВ В-7005 на суміші відпрацьованої олії різної якості (після смаження картоплі, м'яса, овочів, змішаній) у суміші з мелясою. За таких умов показники синтезу етаполану були в 1,4—2,5 рази вищими порівняно з культивуванням продуцента на монособстраті відпрацьованої олії. Подальша заміна меляси в суміші з олією на ацетат натрію призвела до підвищення рН культуральної рідини до 8,0—9,0 та істотного зниження показників синтезу етаполану. Для стабілізації рН на оптимальному для синтезу ЕПС рівні знижували вміст лужної складової середовища, а також здійснювали дробне внесення субстратів. За таких умов культивування показники синтезу етаполану були в 1,7 рази вищими порівняно з результатами, отриманими без дробного внесення субстратів, а концентрація синтезованого полісахариду становила понад 17 г/л.

На основі експериментальних даних розраховано собівартість поживних середовищ для синтезу етаполану на суміші дешевих і доступних субстратів (суміші змішаної відпрацьованої олії з мелясою або ацетатом), необхідного для миття цистерн від залишків нафти та нафтопродуктів АТ «Укрзалізниця», що є основою для розробки універсальної екологічно безпечної безвідходної технології його одержання, незалежної від якості, типу та постачальника відпрацьованої олії.

Ключові слова: *Acinetobacter* sp. ІМВ В-7005, екзополісахариди, етаполан, біосинтез, суміш ацетату або меляси з відпрацьованою соняшниковою олією.

Постановка проблеми. Однією з глобальних екологічних проблем сучасності є пошук ефективних методів утилізації або повторного використання промислових відходів. Слід зазначити, що небезпечними є не лише відходи, що містять

токсичні речовини, а й ті, які потрапляють у навколишнє середовище в неконтрольованій кількості. Одним із таких відходів в Україні та світі є відпрацьована (пересмажена) рослинна олія (соняшникова, оливкова, соєва тощо).

Так, за даними Агентства управління енергетичною інформацією США, станом на 2019 р. в Сполучених Штатах Америки щодня збирають декілька мільйонів галонів відпрацьованої олії в закладах громадського харчування. У Європі ця кількість становить близько 0,5—0,7 млн галонів на день [2]. Відповідно до даних Державної служби статистики у 2018 р. в Україні було виготовлено 5,1 млн т рафінованої соняшникової олії, переважна частина якої потрапить у навколишнє середовище у вигляді відпрацьованої олії після смаження їжі. Значимо, що в Україні викиди відпрацьованої соняшникової олії в навколишнє середовище не регламентуються.

Один із шляхів утилізації таких відходів — використання для виробництва біодизелю та одержання біологічно активних речовин, проте значним недоліком технології є необхідність попереднього очищення олії, на що затрачаються додаткові кошти [3].

Зважаючи на це, перспективним екологічним підходом до утилізації токсичної відпрацьованої олії є її використання як субстрату в біотехнологічних процесах, зокрема для одержання мікробних екзополісахаридів (ЕПС). Попри це, до теперішнього часу для отримання ЕПС в основному використовують дорогу вуглеводну сировину (сахароза, глюкоза тощо) [1; 4]. При цьому літературні відомості про одержання мікробних полісахаридів на промислових відходах є обмеженими, а інформація про їхній синтез на відпрацьованих оліях відсутня.

Нині мікробні ЕПС завдяки їхній здатності до змінення реологічних характеристик водних систем, емульгування, суспендування, гелеутворення широко використовуються у нафто- і гірничодобувній, харчовій, парфумерній, хімічній і текстильній промисловості, сільському господарстві та є об'єктами інтенсивних досліджень. Мікробні полісахариди мають ряд переваг перед синтетичними та рослинними полісахаридами. Так, ці біополімери є нетоксичними і біодеградабельними, стійкими до механічної та окисної деструкції [6].

Перспективним вітчизняним полісахаридом мультифункціонального призначення є етаполан (продуцент штам *Acinetobacter* sp. ІМВ В-7005). Раніше було встановлено здатність до синтезу цього полісахариду на широкому наборі різноманітних вуглеводних моносубстратів (вуглеводи, етанол, ацетат, органічні кислоти) і сумішах. Також вперше показано можливість отримання етаполану на відпрацьованій олії [5]. Основним недоліком використання такого субстрату була низька концентрація цільового продукту.

У той же час використання олії як субстрату для біосинтезу етаполану може сприяти утворенню ЕПС з підвищеним ступенем ацилування, що призведе до покращення його практично цінних властивостей [10]. Додатково інтенсифікувати синтез ЕПС можна завдяки використанню олії в суміші з іншими ростовими субстратами.

Мета статті: дослідити можливість біоконверсії суміші відпрацьованої соняшникової олії з іншими субстратами (меляса, ацетат натрію) в мікробний екзополісахарид етаполан.

Матеріали і методи. Як об'єкт досліджень використовували ЕПС-синтезувальний штамп *Acinetobacter* sp. 12S, депонований у Депозитарії Інституту мікробіології і вірусології Національної академії наук України за номером ІМВ В-7005.

Штамп ІМВ В-7005 вирощували у рідких мінеральних середовищах з таким складом (г/л):

- середовище 1: KH_2PO_4 – 6,8; KOH – 0,9; $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ – 0,4; $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – 0,1; NH_4NO_3 – 0,2; $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ – 0,001;

- середовище 2: KH_2PO_4 – 3,4; $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ – 0,4; $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – 0,1; NH_4Cl – 0,8; $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ – 0,001.

У середовище додатково вносили 0,5% (об'ємна частка) дріжджового автолізу, а також мультівітамінний комплекс «Комплевіт» у концентрації 0,00085% (масова частка в перерахунку на пантотенат). Штамп ІМВ В-7005 є ауксотрофом за пантотенатом.

Як субстрат для біосинтезу використовували такі види олій у концентрації 5,0—7,0% (об'ємна частка): рафінована (ТМ «Стожар», Україна), нерафінована (ТМ «Олейна», Україна), відпрацьована різної якості після смаження м'яса та картоплі (з мережі McDonald's м. Київ, Україна), а також три різні партії (відбір проводився через кожні два місяці) змішаної соняшникової олії після смаження м'яса, картоплі, цибулі, сиру (отримана з пабу «RockerPub» Київ, Україна). В одному з варіантів як джерело вуглецю та енергії використовували суміш меляси (масовою часткою 1,5% за вуглеводами) та олій різної якості (об'ємною часткою 1,5%).

Під час дослідження синтезу етаполану за дробного внесення субстратів початкову концентрацію ацетату та змішаної відпрацьованої олії знижували до 1,0 та 0,5% з подальшим дробним внесенням цих субстратів порціями по 0,5, 1,0 і 1,5%, а олії 1,0, 1,5 і 2,5% до кінцевої концентрації 3,0% ацетату та 5,0% олії. Для підтримання рН на рівні 7,0—8,0 (оптимальному для синтезу етаполану) здійснювали підкислення культуральної рідини оцтовою кислотою.

Як посівний матеріал використовували культуру з експоненційної фази росту (18—24 год), вирощену на середовищі, що містило як джерело вуглецю й енергії такі монособстрати: рафіновану, нерафіновану, відпрацьовану або змішану соняшкову олію (0,5%), мелясу (0,5%), ацетат натрію (масовою часткою 0,5%) або суміш ацетату натрію (0,25%) та соняшникової олії (0,25%). Концентрація інокуляту становила 10%.

Оскільки продуцент етаполану не асимілює сахарозу, мелясу попередньо гідролізували: до 100 г меляси додавали дистильовану воду до кінцевого об'єму 200 мл, в отриманий розчин вносили 20 мл 1 н H_2SO_4 (до рН 4,0) і стерилізували при 112°C протягом 30 хв.

Культивування штаму ІМВ В-7005 здійснювали в колбах (750 мл) із 100 мл середовища на качалці (320 об/хв) при температурі 30°C упродовж 120 год.

Концентрацію біомаси визначали за оптичною густиною клітинної суспензії з перерахунком на суху біомасу згідно з калібрувальним графіком. Кількість синтезованого етаполану визначали ваговим методом. Для цього до певного об'єму культуральної рідини (зазвичай 10—15 мл) додавали 1,5—2 об'єми ізопропанолу, осад ЕПС промивали чистим ізопропанолом і висушували при кімнатній температурі упродовж 24 год. ЕПС-синтезувальну здатність розраховували як відношення концентрації ЕПС до концентрації сухої біомаси та виражали у г ЕПС/г біомаси.

Статистичну обробку даних проводили за Лакінім [8]. Результати досліджень згідно з *t*-критерієм Стьюдента виявилися статистично достовірними при 5-відсотковому рівні значимості.

Результати і обговорення. Відпрацьована олія є токсичним відходом, який містить токсичні речовини (наприклад, акролеїн – акриламід, здатний руйнувати ДНК; гетероциклічні аміни, що спричиняють серцеві захворювання; та полімери жирних кислот, вільні радикали тощо) [7] та, зазвичай, потрапляє в навколишнє середовище в неконтрольованій кількості, що обумовлює необхідність його ефективної утилізації в максимальних кількостях.

У попередніх дослідженнях [7] встановлено, що максимальна концентрація рафінованої олії в середовищі культивування для отримання етаполану становить 5%. Зважаючи на це, у подальших експериментах пересмажену олію вносили в середовище культивування штаму ІМВ В-7005 у такій же концентрації.

Відпрацьована олія є субстратом непостійного складу, якість якого значною мірою залежить від режиму та кратності смаження, а також типу приготованих страв [5].

Дані, наведені у табл. 1. засвідчують, що заміна рафінованої олії на відпрацьовану супроводжувалась підвищенням синтезу етаполану до 10,4 г/л. У той же час при використанні відпрацьованої після смаження картоплі олії спостерігалось різке зниження показників синтезу етаполану (концентрація ЕПС і ЕПС-синтезувальна здатність не перевищували 4,2 г/л і 3,3 г ЕПС/г біомаси відповідно). Такі результати можуть бути пояснені утворенням під час смаження картоплі великої кількості альдегідів (акролеїн), що можуть бути інгібіторами росту і синтезу ЕПС [7].

Таблиця 1. Синтез етаполану на різних типах соняшникової олії

Соняшникова олія в середовищі для біосинтезу	ЕПС, г/л	ЕПС-синтезувальна здатність, г ЕПС/г біомаси
Рафінована	9,1±0,45	5,2±0,26
Нерафінована	10,0±0,50	3,3±0,17
Відпрацьована після смаження м'яса	10,4±0,52	4,5±0,23
Відпрацьована після смаження картоплі	4,2±0,21	3,3±0,17

Примітка: концентрація субстрату — 5%. Інокулят вирощували на відповідній олії.

Зазначимо, що подальше збільшення в середовищі культивування концентрації пересмаженої олії до 6—7% призводило до зниження показників синтезу етаполану, зумовленого наявністю в складі олії великої кількості токсичних інгібіторів росту та синтезу ЕПС.

Одним із підходів до інтенсифікації технологій мікробного синтезу є використання суміші ростових субстратів [11]. Ми припустили, що такий підхід може бути використаний для підвищення синтезу етаполану на відпрацьованій соняшниковій олії.

Як додатковий субстрат було обрано мелясу. Вибір обумовлено такими причинами: 1) меляса значно дешевша за очищені вуглеводні субстрати (глюкоза, сахароза тощо); 2) раніше встановлено можливість синтезу етаполану на мелясі як моносубстраті, що, у свою чергу, дає змогу відразу використовувати цей субстрат для розробки базових технологій [11]; 3) заміна глюкози на мелясу при вирощуванні продуцента на суміші меляси та C₂-C₄-субстратів у всіх варіантах приводила до збільшення кількості синтезованого етаполану [11].

У зв'язку з викладеним вище на наступному етапі досліджували можливість синтезу етаполану на суміші меляси та соняшникової олії.

З даних, наведених у табл. 2, видно, що незалежно від способу підготовки інокуляту й типу відпрацьованої олії в суміші з мелясою, кількість синтезованого етаполану (11—13 г/л) була практично такою самою, як і за використання очищеного субстрату (10—12 г/л).

Варто зазначити, що використання пересмаженої олії для одержання посівного матеріалу є більш доцільним з економічної точки зору, оскільки субстрат не потребує стерилізації та дешевший за мелясу. Окрім цього, використання відпрацьованої олії для підготовки інокуляту та біосинтезу ЕПС дає змогу підвищити обсяги утилізації цього токсичного відходу, а також сприяє додатковому зниженню собівартості цільового продукту.

Враховуючи те, що перед відправкою на переробку (виробництво біодизелю, використання в біотехнологічних процесах) або утилізацію пересмажену олії, зазвичай, змішують, у подальших експериментах досліджували синтез ЕПС на суміші меляси та змішаної відпрацьованої олії.

Встановлено, що використання змішаної пересмаженої олії для одержання інокуляту та біосинтезу ЕПС супроводжувалось додатковим підвищенням показників синтезу етаполану (концентрація ЕПС становила 14 г/л, ЕПС-синтезувальна здатність — 3,5 г ЕПС/г біомаси), порівняно з використанням інших типів відпрацьованих олій (після смаження картоплі, м'яса, овочів) (табл. 2).

Таблиця 2. Показники синтезу етаполану на суміші меляси (1,5%) та соняшникової олії (1,5%) залежно від способу підготовки інокуляту

Олія у суміші з мелясою	Субстрат для одержання інокуляту	ЕПС, г/л	ЕПС-синтезувальна здатність, г ЕПС/г біомаси
1	2	3	4
Рафінована	Рафінована олія	10,09±0,50	3,60±0,18
	Меляса	12,25±0,61	3,35±0,17
Відпрацьована після смаження картоплі «фрі»	Відпрацьована олія після смаження картоплі «фрі»	11,06±0,55	2,61±0,13
	Меляса	13,52±0,68	3,21±0,16

1	2	3	4
Відпрацьована після смаження картоплі по-селянськи	Відпрацьована олія після смаження картоплі по-селянськи	11,66±0,58	2,69±0,13
	Меляса	13,19±0,66	2,25±0,11
Відпрацьована після смаження м'яса	Відпрацьована олія після смаження м'яса	12,41±0,62	3,42±0,17
	Меляса	11,33±0,57	2,87±0,14
Відпрацьована після смаження овочів	Відпрацьована олія після смаження овочів	9,94±0,50	2,95±0,15
	Меляса	10,71±0,54	3,15±0,16
Змішана відпрацьована	Відпрацьована змішана олія	13,92±0,70	3,49±0,17
	Меляса	12,90±0,65	3,28±0,16

Беручи до уваги наведені вище результати, а також зважаючи на мінливість складу пересмаженої олії, на наступному етапі роботи досліджували синтез етаполану на суміші меляси та різних партій змішаної відпрацьованої олії.

Експерименти показали, що показники синтезу етаполану були стабільними і майже не змінювалися при використанні різних партій відпрацьованого субстрату (табл. 3).

Зазначимо, що культивування штаму ІМВ В-7005 на суміші олії з азотвмісним субстратом мелясою призводило не тільки до підвищення кількості синтезованого етаполану, а й супроводжувалось додатковим накопиченням біомаси, що істотно знижує ефективність технології внаслідок ускладнення виділення та очищення полісахариду. Одним зі шляхів вирішення цієї проблеми є використання в суміші з олією субстрату, що не містить у своєму складі азоту, зокрема ацетату, який раніше успішно використовувався для одержання етаполану [11].

Таблиця 3. Вплив різних партій змішаної відпрацьованої олії в суміші з мелясою на синтез етаполану

Партія змішаної олії в суміші з мелясою*	ЕПС, г/л	ЕПС-синтезувальна здатність, г ЕПС/г біомаси
Перша	13,84±0,69	1,43±0,07
Друга	12,64±0,63	1,78±0,09
Третя	14,98±0,75	1,50±0,08

Примітка: * — партії змішаної відпрацьованої олії описані в матеріалах і методах. Посівний матеріал вирощували на відповідній змішаній пересмаженій олії.

У зв'язку з наведеним вище наступний етап роботи було присвячено дослідженню синтезу ЕПС на суміші ацетату та змішаної відпрацьованої олії.

Експерименти показали, що заміна меляси на ацетат натрію в суміші з олією призводило до підвищення рН культуральної рідини до неоптимального для синтезу ЕПС рівня (8,0—9,0). Таке надмірне підвищення рН середовища зумовлене транспортом ацетату в клітини продуцента симпортом з протоном. Ми припустили, що знизити рН культуральної рідини можна завдяки зниженню лужної складової середовища та здійснення дробного внесення субстратів.

Проте результати показали, що такий підхід не супроводжувався стабілізацією рН, хоча й призводив до підвищення концентрації синтезованого етаполану до 11 г/л. Зважаючи на це, у подальших експериментах при дробному внесенні субстратів ацетат натрію замінювали на еквімолярну за вуглецем кількість оцтової кислоти (табл. 4). Встановлено, що така заміна супроводжувалась не тільки підтримкою рН на оптимальному для одержання ЕПС рівні, а й призводила до загального підвищення показників його синтезу (концентрація ЕПС становила 17,3 г/л, ЕПС-синтезувальна здатність — 6,5 г ЕПС/г біомаси).

Варто зазначити, що завдяки наявності жирних кислот розчинам етаполану притаманна висока здатність до емульгування, що робить можливим їхнє використання для очищення обладнання від нафти та нафтопродуктів [11].

Таблиця 4. Вплив дробного внесення субстратів на синтез етаполану

Варіанти культивування	рН	ЕПС, г/л	ЕПС-синтезувальна здатність, г ЕПС/г біомаси
Без дробного внесення субстратів (контроль)	8,7	4,9	1,07±0,05
Дробне внесення ацетату натрію та олії	8,0	11,0	4,23±0,21
Дробне внесення оцтової кислоти та олії	7,7	17,27	6,47±0,32

Очищення ємностей від залишків нафтопродуктів є рутинною технологічною операцією, від якої значною мірою залежить безпека та ефективність транспортування нафти.

На сьогодні найбільш розповсюдженим методом очищення резервуарів і транспортних ємностей з-під нафтопродуктів є гідромеханічне очищення з використанням гарячих водних розчинів високоактивних хімічних агентів. Зазначимо, що такий підхід має ряд недоліків [9]: 1) генерація великої кількості хімічно забрудненої води; 2) значна витрата теплової енергії для підігріву та подачі води; 3) підвищений ризик для здоров'я та безпеки людей, що проводять очистку; 4) значні витрати на гідромеханічне обладнання та хімічні реагенти; 5) необхідність подальшої утилізації хімічних реагентів.

Як альтернативу такому підходу запропоновано використовувати для очищення розчини етаполану, який є емульгатором біологічного походження. Раніше показано [11], що як миючий засіб можна використовувати 0,1% етаполанвмісну культуральну рідину після вирощування штаму ІМВ В-7005.

Станом на 2018 р. обсяги транспортування нафти та нафтопродуктів залізницею до Кременчуцького нафтопереробного заводу становили 240 тис. т нафти у 4 000 цистернах об'ємом 60 м³. Заповнення цистерн миючим розчином здійснюється на 20%, тому для миття однієї цистерни об'ємом 60 м³ необхідно 12 м³ робочого розчину етаполану, а для 500 цистерн — 6 000 м³ робочого розчину, або 6 т етаполану.

Розрахунок кількості культуральної рідини для одержання такої кількості етаполану згідно з різними технологіями на основі відпрацьованої олії, а також вартість відповідних поживних середовищ наведено в табл. 5.

Таблиця 5. Вартість поживних середовищ для різних технологій одержання етаполану

Технологія	Концентрація ЕПС, г/л	Загальна вартість*, грн	Потреба в культуральній рідині, м ³	Вартість середовища, тис. грн
Базова (субстрат відпрацьована олія)	10,4	1,6	577	923,2
Вдосконалена 1 (субстрат суміш змішаної відпрацьованої олії та меляси)	14,98	3,1	400	1 240
Вдосконалена 2 (суміш змішаної відпрацьованої олії з ацетатом, дробне внесення субстратів і регуляція рН)	17,27	1,3	347	451,1

Примітка: * — розрахунок вартості компонентів для отримання 1 л поживного середовища.

З наведених розрахунків видно, що використання етаполану, синтезованого на суміші змішаної відпрацьованої олії та ацетату, для миття цистерн з-під нафти є найбільш доцільним з економічної точки зору, оскільки витрати на його одержання є в 2,0—2,7 раза нижчими порівняно з іншими технологіями на змішаній відпрацьованій олії.

Висновки

У результаті проведених досліджень встановлено можливість синтезу етаполану *Acinetobacter* sp. ІМВ В-7005 на відпрацьованій олії різної якості (після смаження картоплі, м'яса, овочів, змішаній) у суміші з мелясою або ацетатом. Найвищі показники синтезу ЕПС досягалися при використанні змішаної відпрацьованої олії в суміші з мелясою або ацетатом. При цьому кількість синтезованого етаполану досягала 15 та 17 г/л відповідно. Отримані результати підтверджують можливість розробки ефективної технології одержання етаполану для миття резервуарів з-під нафти на суміші дешевих і доступних субстратів (суміш оцтової кислоти та змішаної відпрацьованої олії), собівартість якої у 2—2,7 раза нижча, якщо порівняти з іншими технологіями на змішаній відпрацьованій олії.

Література

1. An C., Ma S., Chang F., Xue W. Efficient production of pullulan by *Aureobasidium pullulans* grown on mixtures of potato starch hydrolysate and sucrose. *Braz. J. Microbiol.* 2017. Vol. 48. P. 180—185.
2. Araujo J., Celis Ariza O. J., De Lima L. A study on production of biodiesel from waste frying oil. *Chem. Engineer. Trans.* 2019. Vol. 74. P. 157—162 doi:10.3303/CET1974027.
3. Mangesh G. K. Waste cooking oils an economical source for biodiesel: a review. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2006. Vol. 45, № 90. P. 2901—2913.
4. Mishra B., Zamare D., Manikanta A. Selection and utilization of agro-industrial waste for biosynthesis and hyper-production of pullulan: a review. *Biosynthetic Technology and Environmental Challenges*, Springer: 2018. P. 89—103.

5. Pirog T. P., Ivakhniuk M. O., Voronenko A. A. Intensification of microbial exopolysaccharide ethapolan biosynthesis on mixture of molasses and sunflower oil. *Biotechnol. Acta*. 2017. Vol. 10, № 4. P. 25—33. doi: 10.15407/biotech10.04.025.
6. Schmid J., Farina J., Rehm B., Sieber V. Microbial exopolysaccharides: from genes to application. Lausanne: Frontiers Media, 2016. 163 p. doi: 10.3389/978-2-88919-843-6.
7. Івахнюк М. О., Пирог Т. П. Вплив способу підготовки посівного матеріалу на синтез полісахариду етаполану на олієвісних субстратах. *Наукові праці НУХТ*. 2015. № 21, т. 5. С. 17—21.
8. Лакин Г. Ф. Биометрия. Москва, 1990. 352 с.
9. Липовий В. О., Удяньський М. М. Техногенні ризики забруднення довкілля під час експлуатування та ремонтних робіт резервуарів з нафтопродуктами: монографія. Харків: НУГЗУ, 2017. 107 с.
10. Пирог Т. П., Корж Ю. В., Лащук Н. В., Зборовська Б. М. Синтез мікробного екзополіцукриду етаполану на суміші етанолу і меляси. *Мікробіологічний журнал*. 2006. № 68, т. 3. С. 3—15.
11. Підгорський В. С., Іутинська Г. О., Пирог Т. П. Інтенсифікація технологій мікробного синтезу. Київ, 2010. 327 с.

USE OF MULTICRITERIAL OPTIMIZATION OF THE GROWTH MEDIUM FOR ACCUMULATION OF BIOMASS OF LACTIC ACID BACTERIA

M. Khonkiv, S. Teterina

National University of Food Technologies

S. Danylenko, O. Potemka

Institute of Food Resources of NAAS

Key words:

*Multicriterial optimization
Growth medium
Bacterial composition
Response surface methodology
Lactic acid bacteria*

Article history:

Received 08.07.2020
Received in revised form 22.07.2020
Accepted 05.08.2020

Corresponding author:

M. Khonkiv

E-mail:

myroslavh85@gmail.com

ABSTRACT

The most important stage in the production of bacterial preparations based on lactic acid bacteria is to obtain the maximum yield of biomass in the minimum cultivation time. Cultivation of lactic acid bacteria is complicated by the nutritional needs of these microorganisms. For these bacteria requires a nutrient medium growth factors — amino acids, vitamins, minerals and others. Therefore, the issue of optimizing the conditions for culturing bacteria is relevant. The aim of this study was to establish the composition of the nutrient medium for growing the bacterial composition *Lactobacillus buchneri* 3806, *L. plantarum* 3796, *Enterococcus faecium* C-8-12. A commonly used medium for growing bacterial compositions based on lactic acid bacteria is MRS medium (Mann, Rogoza, Sharpe), which contains all the essential nutrients and growth factors for their development. In industrial conditions, the use of this medium is impractical due to its high cost. To optimize the composition of the nutrient medium the method rotatable central composition planning (RCKP) was used, that allowed to parse the growth of lactic acid bacteria according to six selected factors, such as concentration of glucose, corn and yeast extracts, peptone, acetate and sodium citrate. The optical density of the culture fluid was chosen as the criterion of optimality.

As a result, the nutrient medium of the following composition was optimized, g/l: base (protosubtilin-hydrolyzed milk with the addition of the following salts: monosubstituted potassium phosphate — 2 g/l; manganese sulfate 5-aqueous — 0.05 g/l; magnesium sulfate 7-aqueous — 0.2 g/l, twin-80 — 1.0); glucose — 19.7; yeast extract — 7.8; corn extract — 23.6; peptone — 9.1; sodium citrate — 6.6; and sodium acetate — 3,4. Increasing the bacterial composition allowed to obtain the maximum yield of biomass where the optical density was 2.01 units, which is almost twice the value obtained by culturing the same composition in MRS medium. The optimized medium is recommended for culturing the bacterial composition under industrial conditions.

DOI: 10.24263/2225-2924-2020-26-4-7

ВИКОРИСТАННЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПОЖИВНОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ НАКОПИЧЕННЯ БІОМАСИ МОЛОЧНОКИСЛИХ БАКТЕРІЙ

М. О. Хоньків, С. М. Тетеріна

Національний університет харчових технологій

С. Г. Даниленко, О. І. Потемська

Інститут продовольчих ресурсів НААН України

Найважливішою стадією у виробництві бактеріальних препаратів на основі молочнокислих бактерій є отримання максимального виходу біомаси за мінімальний термін культивування. Культивування молочнокислих бактерій ускладнено особливостями поживних потреб цих мікроорганізмів. Для цих бактерій необхідна наявність у поживному середовищі факторів росту — амінокислот, вітамінів, мікроелементів тощо, тому питання оптимізації умов культивування бактерій є актуальним.

*У статті проведено оптимізацію складу поживного середовища для вирощування бактеріальної композиції *Lactobacillus. bichneri* 3806, *L. plantarum* 3796, *Enterococcus faecium* C-8-12. Загальноживаним середовищем для вирощування бактеріальних композицій на основі молочнокислих бактерій є середовище МРС (Ман, Рогоза, Шарп), яке містить усі необхідні для їхнього розвитку поживні речовини й фактори росту. В промислових умовах застосування такого середовища є недоцільним через його високу вартість. Для оптимізації складу поживного середовища використовували метод ротатабельного центрально-композиційного планування, який дав змогу проаналізувати відгук росту молочнокислих бактерій залежно від концентрації глюкози, кукурудзяного і дріжджового екстрактів, пептону, ацетату та цитрату натрію. Критерієм оптимальності було обрано оптичну густину культуральної рідини.*

У результаті оптимізовано поживне середовище такого складу, г/л: основа (гідролізоване протосубтиліном молоко з додаванням таких солей: калій фосфорнокислий однозаміщений — 2 г/л; марганець сірчаноокислий 5-водний — 0,05 г/л; магній сірчаноокислий 7-водний — 0,2 г/л, твін-80 — 1,0); глюкоза — 19,7; дріжджовий екстракт — 7,8; кукурудзяний екстракт — 23,6; пептон — 9,1; цитрат натрію — 6,6; ацетат натрію — 3,4. Нарощування бактеріальної композиції дало змогу отримати максимальний вихід біомаси, за якого показник оптичної густини становив 2,01 од., що практично вдвічі більше, ніж значення, яке було одержано при культивуванні тієї ж композиції в середовищі МРС. Оптимізоване середовище рекомендовано для культивування бактеріальної композиції в промислових умовах.

Ключові слова: багатокритеріальна оптимізація, середовище росту, бактеріальна композиція, методологія поверхні відгуку, молочнокислі бактерії.

Постановка проблеми. Важливим етапом біотехнології бактеріальних препаратів на основі молочнокислих бактерій є забезпечення оптимальних умов і режимів для процесу культивування. Одним із визначальних параметрів, який впливає на накопичення біомаси, є відповідність складу поживного середовища

ростовим потребам бактерій. Велика частина субстрату в клітинах молочнокислих бактерій витрачається на синтез органічних кислот, тому найчастіше ріст бактерій першочергово лімітується спорідненістю з ним і його концентрацією. Для зменшення часу адаптації бактеріальних культур, вилучених з природного середовища, до нових умов у ході силосування існує необхідність використання поживних середовищ, наближених за хімічним складом до сировини. Основними джерелами вуглецю в рослинній сировині, що є доступними для силосної мікробіоти, є водорозчинні вуглеводи в клітинному соку — глюкоза і фруктоза. Існує потреба в ростових факторах та азотному живленні для молочнокислих бактерій від штаму до штаму, тому для забезпечення цих цілей використовують гідролізати білків м'яса, лактоальбуміну, казеїну та різних видів борошна [1; 2]. Також як джерела амінокислот, поліпептидів і вітамінів використовують дріжджовий і кукурудзяний екстракти [3; 4]. Останній з них є дешевою альтернативою азотного живлення — містить 1,2—2,0% амінного азоту в концентраті, що додатково може містити від 0,1—1,1% цукрів, 5—11,5% молочної кислоти. Те саме стосується і вітамінів та амінокислот, які знаходяться переважно в дріжджовому екстракті та дещо менше — в кукурудзяному.

При спільному культивуванні представників різних родів, видів і штамів молочнокислих бактерій необхідно враховувати всі особливості метаболізму кожної складової культури, що є дуже складним завданням. Щоб вирішити це завдання і підвищити результати до необхідної точності, раціонально використати математичні методи планування експерименту. Зокрема, є повідомлення, що за допомогою методу центрального композиційного плану було оптимізоване середовище для вирощування штаму *Lactobacillus paracasei subsp. Paracasei* В 4079 зі ступенем конверсії субстрату в біомасу і молочну кислоту — близько 100%. Оптимальні концентрації глюкози та інших джерел ростових факторів було визначено за найвищою зоною поверхні відгуку конверсії субстрату [4]. В іншому дослідженні для оцінки впливу компонентів поживного середовища перед використанням центрального композиційного плану використано метод Плакета-Бірмана, в результаті чого за допомогою такої гібридної методології на новому середовищі було накопичено біомаси штаму *L. rhamnosus* PEN на 1,9 г/л більше порівняно з концентрацією на МРС [5]. Більш складна оптимізація ферментаційного середовища для одержання екзополісахариду культурою *L. plantarum* наведена в праці індійських вчених [6], які застосували методи Плакета-Бірмана, штучних нейронних мереж і генетичних алгоритмів. Зокрема, такий підхід до оптимізації середовища підвищив вихід екзополісахариду на 4,45 г/л порівняно з вихідними характеристиками штаму. Серед інших ефективних підходів можна відмітити використання методів Бокса-Бенкена і масиву Тагуті, які характеризуються підвищенням виходу біомаси порівняно з початковим середовищем на 107%. Особливістю такого підходу є інтегрування двох методів на різних етапах оптимізації, тому збільшення біомаси досягається послідовним використанням методів [7].

У всіх проаналізованих експериментальних дослідженнях [4—7] використання методів математичного моделювання та статистичного аналізу надає можливість збільшити вихід кінцевого продукту порівняно з емпіричною методикою підбору індивідуальних середовищ, а також значно скоротити рівень затрачених ресурсів на досягнення бажаного результату.

Проте для застосування цих методів необхідно знайти модельні середовища, на основі яких здійснюється початковий пошук оптимального складу. Представники роду *Lactobacillus* не ростуть або ростуть дуже слабко на поживних середовищах з простими субстратами, тому в переважній більшості дослідники використовують багатокомпонентні середовища зі складними джерелами ростових факторів тваринного і рослинного походження [5; 10]. Так, загальнозживаним є середовище Man, Rogosa, Sharpe [8] у вигляді MRS-бульйону. Це середовище універсальне як для лабораторних, так і для великомасштабного вирощування лактобацил, лактококів, педіококів, ентерококів через достатнє забезпечення ростових потреб [9]. Проте, попри підвищення ростових характеристик, це середовище модифікують під індивідуальні фізіологічні потреби конкретних біологічних агентів. Крім того, середовище є доволі дороговартісним, а кожен виробник речовин до необхідного мінімуму або ж за рахунок використання дешевших альтернатив [10].

Метою дослідження є підбір та оптимізація складу середовища для виробництва бактеріальної композиції молочнокислих бактерій методом ротатабельного центрально-композиційного плану.

Матеріали і методи. Об'єктами досліджень були два штами *L. buchneri* 3806 та *L. plantarum* 3796, ізольовані із силосу кукурудзи, та один штам *Enterococcus faecium* C-8-12, ізольований з фекалій кролика. Культури молочнокислих бактерій підтримували на середовищі MRS, між пересівами зберігали у відділі біотехнології Інституту продовольчих ресурсів НААН України за температури $(4\pm 2)^\circ\text{C}$.

Для постановки дослідження з пошуку оптимального середовища використано методологію математичного планування експерименту. Для скорочення кількості дослідів для 6 факторів застосовано ротатабельний центрально-композиційний план. Критерієм оптимальності обрано оптичну густину культуральної рідини, що характеризує приріст біомаси.

Експериментальні дані одержували згідно із згенерованою матрицею дослідів. Кількість дослідів генерувалася за формулою (1) для центрального композиційного плану:

$$N = 2^{n-1} + 2n + N_0 \leq 3^n, \quad (1)$$

де 2^{n-1} — ядро плану експерименту; $2n$ — зіркові точки; N_0 — точки у центрі плану, n — кількість факторів.

Планування експерименту та обробка даних здійснювалася за допомогою програмного середовища для статистичного аналізу STATISTICA 12. У ході обробки результатів вираховувалися коефіцієнти рівняння полінома регресії та їх дисперсії. Перевірка адекватності одержаного відгуку здійснювалася за критерієм Фішера. Значення експериментальних даних, а також коефіцієнтів регресії вважалися статистично значимими, якщо $p \leq 0,05$.

Було досліджено 46 варіантів поживних середовищ, до яких вносили глюкозу (Гл) і кукурудзяний екстракт (КЕ) у кількості 10—20 г/л, казеїновий пептон (КП) — 5—10 г/л, дріжджовий екстракт (ДЕ) — 3—7 г/л, ацетат натрію (АН) — 2—4 г/л та цитрат натрію (ЦН) — 3—7 г/л.

Як основу середовища для накопичення біомаси мікроорганізмів використовували рідке поживне середовище гідролізованого протосубтиліном молока з

додаванням таких солей: калій фосфорнокислий однозаміщений — 2 г/л; марганець сірчаноокислий 5-водний — 0,05 г/л; магній сірчаноокислий 7-водний — 0,2 г/л, твін-80 — 1,0 мл/л. Контролем слугувало середовище МРС.

Культивування мікроорганізмів вели в періодичному режимі зі стабілізацією рН культуральної рідини в діапазоні 6,0—6,5 од. впродовж 14 год за оптимальної температури (36 ± 1)°C.

Інтенсивність розвитку культур у досліджуваних середовищах оцінювали за рівнем накопичення біомаси спектрофотометричним методом на спектрофотометрі Unicо S 2100 (при довжині хвилі — 590 нм).

Результати і обговорення. Як фактор оптимізації було обрано 6 компонентів, за зміни яких могло б забезпечуватися збільшення рівня накопичення біомаси бактерій. Як джерело вуглецю було обрано глюкозу, що входить до складу середовища МРС і є основним вуглеводом клітинного соку кукурудзи. Як головне джерело азотного живлення, замість м'ясного екстракту, використовували концентрований кукурудзяний екстракт. Діапазони концентрацій для глюкози й кукурудзяного екстракту обрані на рівні 10—20 г/л. Для забезпечення всіх потреб метаболізму молочнокислих бактерій серед інших джерел азотного живлення та ростових факторів середовище доповнювали казеїновим пептоном у діапазоні концентрацій — 5—10 г/л та дріжджовим екстрактом — 3—7 г/л. Окрім того, використано ацетат і цитрат натрію в діапазонах концентрацій 2—4 г/л та 3—7 г/л відповідно. Відомо, що ацетати є інгібіторами для багатьох сторонніх мікроорганізмів, тоді як цитрати [11] — резервним джерелом енергії для молочнокислих бактерій. Ріст біомаси клітин оцінювали за оптичною густиною (D) культуральної рідини. Для одержання інформації про відгук оптичної густини залежно від концентрації складових поживного середовища обрано трирівневий центральний композиційний план експериментів. Для 6 факторів необхідно було одержати результати в 46 дослідах, варіанти комбінування яких наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Матриця експериментальних даних для поверхні відгуку

№	Значення змінних факторів						Відгук Y
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	10,00	3,00	10,00	5,00	3,00	2,00	1,09
2	10,00	3,00	10,00	5,00	7,00	4,00	1,12
3	10,00	3,00	10,00	10,00	3,00	4,00	1,19
4	10,00	3,00	10,00	10,00	7,00	2,00	1,21
5	10,00	3,00	20,00	5,00	3,00	4,00	1,54
6	10,00	3,00	20,00	5,00	7,00	2,00	1,58
7	10,00	3,00	20,00	10,00	3,00	2,00	1,60
8	10,00	3,00	20,00	10,00	7,00	4,00	1,62
9	10,00	7,00	10,00	5,00	3,00	4,00	1,28
10	10,00	7,00	10,00	5,00	7,00	2,00	1,30
11	10,00	7,00	10,00	10,00	3,00	2,00	1,32
12	10,00	7,00	10,00	10,00	7,00	4,00	1,36
13	10,00	7,00	20,00	5,00	3,00	2,00	1,66
14	10,00	7,00	20,00	5,00	7,00	4,00	1,69
15	10,00	7,00	20,00	10,00	3,00	4,00	1,70
16	10,00	7,00	20,00	10,00	7,00	2,00	1,73
17	20,00	3,00	10,00	5,00	3,00	4,00	1,45
18	20,00	3,00	10,00	5,00	7,00	2,00	1,47

1	2	3	4	5	6	7	8
19	20,00	3,00	10,00	10,00	3,00	2,00	1,49
20	20,00	3,00	10,00	10,00	7,00	4,00	1,52
21	20,00	3,00	20,00	5,00	3,00	2,00	1,78
22	20,00	3,00	20,00	5,00	7,00	4,00	1,84
23	20,00	3,00	20,00	10,00	3,00	4,00	1,82
24	20,00	3,00	20,00	10,00	7,00	2,00	1,88
25	20,00	7,00	10,00	5,00	3,00	2,00	1,59
26	20,00	7,00	10,00	5,00	7,00	4,00	1,61
27	20,00	7,00	10,00	10,00	3,00	4,00	1,64
28	20,00	7,00	10,00	10,00	7,00	2,00	1,67
29	20,00	7,00	20,00	5,00	3,00	4,00	1,91
30	20,00	7,00	20,00	5,00	7,00	2,00	1,93
31	20,00	7,00	20,00	10,00	3,00	2,00	1,92
32	20,00	7,00	20,00	10,00	7,00	4,00	1,92
33	3,11	5,00	15,00	7,50	5,00	3,00	0,95
34	26,89	5,00	15,00	7,50	5,00	3,00	1,80
35	15,00	0,24	15,00	7,50	5,00	3,00	1,69
36	15,00	9,76	15,00	7,50	5,00	3,00	1,75
37	15,00	5,00	3,11	7,50	5,00	3,00	1,11
38	15,00	5,00	26,89	7,50	5,00	3,00	1,94
39	15,00	5,00	15,00	1,55	5,00	3,00	1,52
40	15,00	5,00	15,00	13,45	5,00	3,00	1,82
41	15,00	5,00	15,00	7,50	0,24	3,00	1,59
42	15,00	5,00	15,00	7,50	9,76	3,00	1,87
43	15,00	5,00	15,00	7,50	5,00	0,62	1,60
44	15,00	5,00	15,00	7,50	5,00	5,38	1,86
45	15,00	5,00	15,00	7,50	5,00	3,00	1,78
46	15,00	5,00	15,00	7,50	5,00	3,00	1,79

Примітка: фактори: X_1 — концентрація глюкози; X_2 — концентрація дріжджового екстракту; X_3 — концентрація кукурудзяного екстракту; X_4 — концентрація казеїнового пептону; X_5 — концентрація цитрату натрію; X_6 — концентрація ацетату натрію. Зазначені значення концентрації компонентів вимірюються в грамах на літр середовища (г/л). Відгук: Y — значення оптичної густини.

Згідно з експериментальними значеннями оптичної густини, одержаними при культивуванні бактеріальної композиції, як математичну модель було обрано поліномом регресії другого порядку (2):

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^6 \beta_i X_i + \sum_{j=1}^6 \beta_{jj} X_j^2. \quad (2)$$

Перевірку адекватності впливу кожного фактора здійснювали з використанням дисперсійного аналізу. Значення критеріїв оцінки дисперсії одержаних результатів по кожному фактору наведені в табл. 2. Усі досліджені компоненти в їхніх діапазонах концентрацій є статистично значимими для впливу на оптичну густину, адже виконується умова $p \leq 0,05$.

Коефіцієнт детермінації, визначений для моделі, становить $R^2 = 0,96$, що свідчить про досить близьке наближення відгуку критерію оптимальності його реальним значенням. Саме тому запропоноване рівняння регресії є придатним для застосування в подальшій оптимізації.

Таблиця 2. Показники дисперсійного аналізу

№	Фактор		Критерії дисперсії				
			SS*	df*	MS*	F*	p*
1	Глюкоза	Л**	0,966952	1	0,966952	19339,04	0,004578
		К**	0,224623	1	0,224623	4492,45	0,009497
2	Дріжджовий екстракт	Л**	0,108987	1	0,108987	2179,75	0,013634
		К**	0,011667	1	0,011667	233,34	0,041616
3	Кукурудзяний екстракт	Л**	1,398910	1	1,398910	27978,19	0,003806
		К**	0,099127	1	0,099127	1982,54	0,014295
4	Казеїновий пептон	Л**	0,049451	1	0,049451	989,02	0,020236
		К**	0,025936	1	0,025936	518,73	0,027934
5	Цитрат натрію	Л**	0,029792	1	0,029792	595,84	0,026066
		К**	0,009488	1	0,009488	189,77	0,046133
6	Ацетат натрію	Л**	0,008545	1	0,008545	170,91	0,048602
		К**	0,009488	1	0,009488	189,77	0,046133
Відсутність придатності			0,129847	32	0,004058	81,15	0,087695
Чиста помилка			0,000050	1	0,000050		
Загальна сума квадратів (SS)			2,985783	45			

Примітка: * — показники дисперсії: SS — сума квадратів; df — ступені свободи; MS — середня сума квадратів; F — критерій Фішера; p — статистична значимість. ** — тип залежності: Л — лінійна, К — квадратична.

Коефіцієнти регресії, одержані для побудови поверхонь відгуку критерію оптимальності (*D*), наведені в табл. 3. Аналіз показує відповідність коефіцієнтів для заданої довірчої ймовірності $p = 95\%$.

Таблиця 3. Коефіцієнти регресії та їхня статистична значимість

Фактор	Компонент		Коефіцієнти регресії (β_i)	Чиста помилка	Критерій Стьюдента (<i>t</i>)	<i>p</i>
	Вільний коефіцієнт	β_0	-1,31229	0,037679	-34,8278	0,018274
X_1	Глюкоза	Л	0,12467	0,001430	87,1557	0,007304
		К	-0,00316	0,000047	-67,0258	0,009497
X_2	Дріжджовий екстракт	Л	0,07009	0,002995	23,4026	0,027186
		К	-0,00450	0,000295	-15,2756	0,041616
X_3	Кукурудзяний екстракт	Л	0,09891	0,001430	69,1475	0,009206
		К	-0,00210	0,000047	-44,5257	0,014295
X_4	Казеїновий пептон	Л	0,07793	0,002861	27,2414	0,023359
		К	-0,00429	0,000189	-22,7756	0,027934
X_5	Цитрат натрію	Л	0,05370	0,002995	17,9307	0,035468
		К	-0,00406	0,000295	-13,7756	0,046133
X_6	Ацетат натрію	Л	0,11145	0,007152	15,5831	0,040797
		К	-0,01623	0,001179	-13,7756	0,046133

Отже, загальне рівняння регресії з обрахованими коефіцієнтами має такий вигляд (3):

$$\begin{aligned}
 Y = & -1,31229 + 0,12467X_1 + 0,7009X_2 + 0,09891X_3 + 0,07793X_4 + \\
 & + 0,05370X_5 + 0,11145X_6 - 0,00316X_1^2 - 0,00450X_2^2 - 0,00210X_3^2 - \\
 & - 0,0042X_4^2 - 0,00406X_5^2 - 0,01623X_6^2.
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

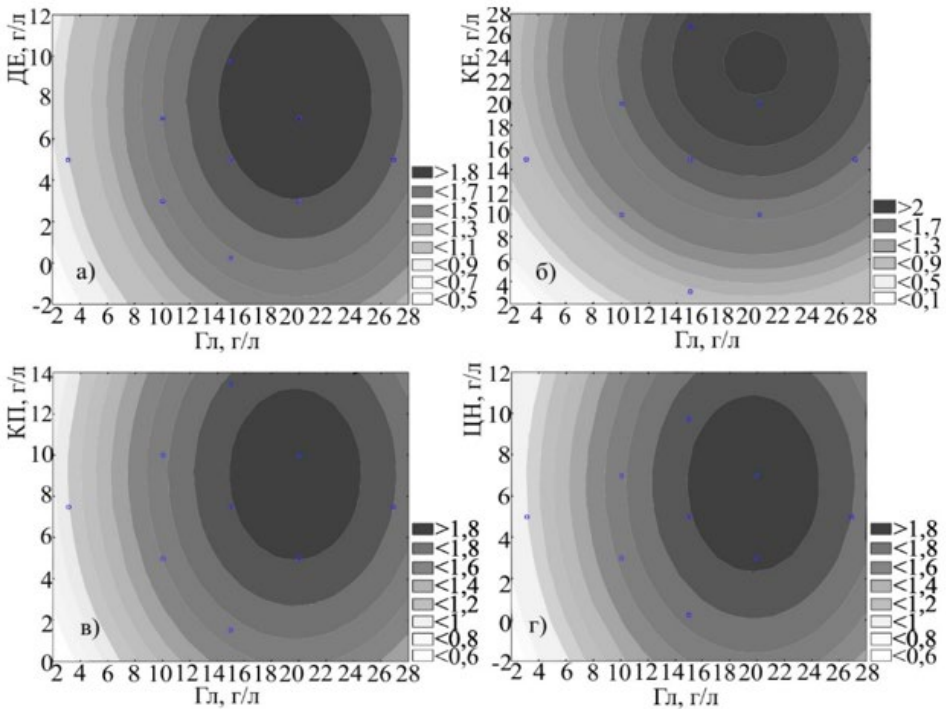
Поверхні відгуку являють собою тривимірну модель, тому для шести факторів було побудовано одразу 15 поверхонь відгуку, для яких приймали 2 змінних фактори при значенні константи для 4 інших. Проекції поверхонь відгуку оптичної густини наведено на рис. 1, 2.

Для встановлення значень концентрації аналізованих компонентів, за яких оптична густина буде мати максимальне значення, було знайдено екстремум функції відгуку в точці максимуму. Для вирішення цієї задачі розрахунки здійснено за допомогою програми STATISTICA 12 на основі побудованих поверхонь відгуку, результати яких наведено в табл. 4.

За розрахованих оптимальних концентрацій компонентів поживного середовища теоретичний показник оптичної густини досягає значення $D = 2,08$.

Таблиця 4. Критичні точки концентрацій компонентів у середовищі

Фактор	Концентрація компонента в середовищі		
	Мінімальні досліджені	Максимальні досліджені	Оптимальні концентрації
Глюкоза	3,11	26,89	19,73
Дріжджовий екстракт	0,24	9,76	7,79
Кукурудзяний екстракт	3,11	26,89	23,56
Пептон	1,55	13,45	9,07
Цитрат натрію	0,24	9,76	6,62
Ацетат натрію	0,62	5,38	3,43
Теоретичний D_{max}			2,08



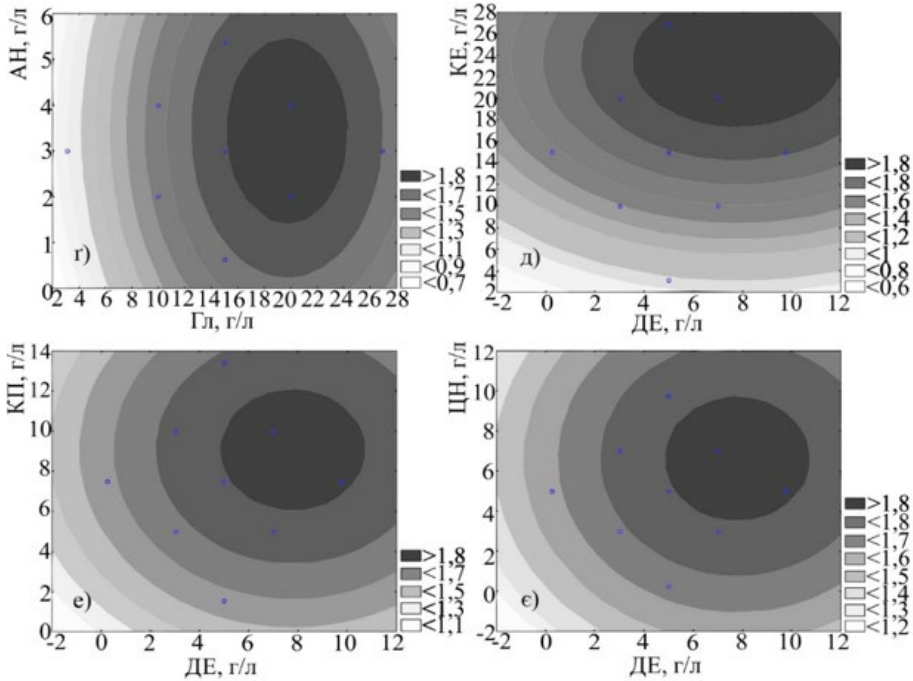
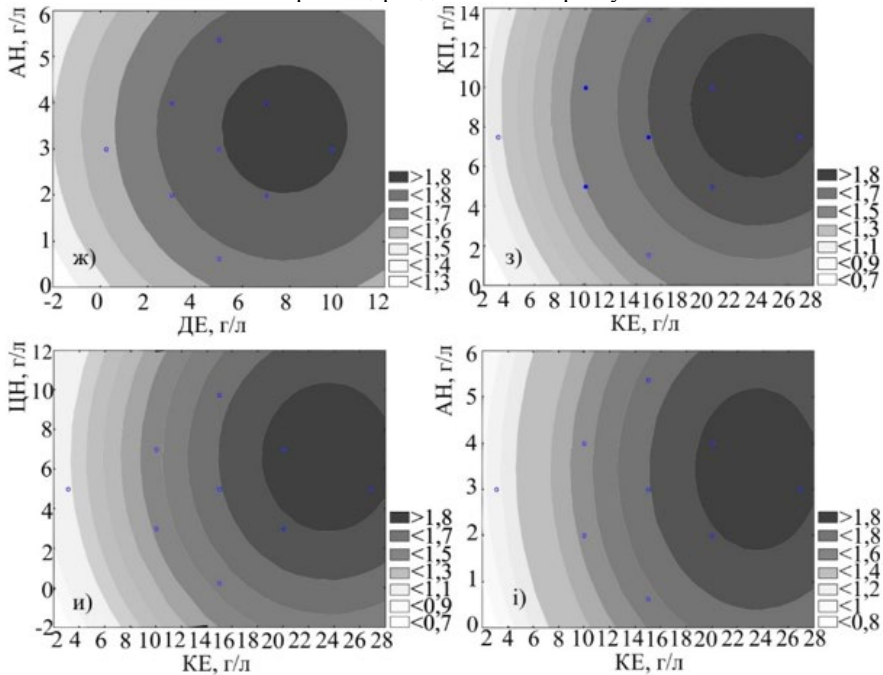


Рис. 1. Проекція поверхні відгуку оптичної густини (D , од) від концентрації компонентів поживного середовища (г/л): а) дріжджового екстракту та глюкози; б) кукурудзяного екстракту та глюкози; в) казеїнового пептону та глюкози; г) цитрату натрію та глюкози; р) ацетату натрію та глюкози; д) кукурудзяного екстракту та дріжджового екстракту; е) казеїнового пептону та дріжджового екстракту; е) цитрату натрію та дріжджового екстракту



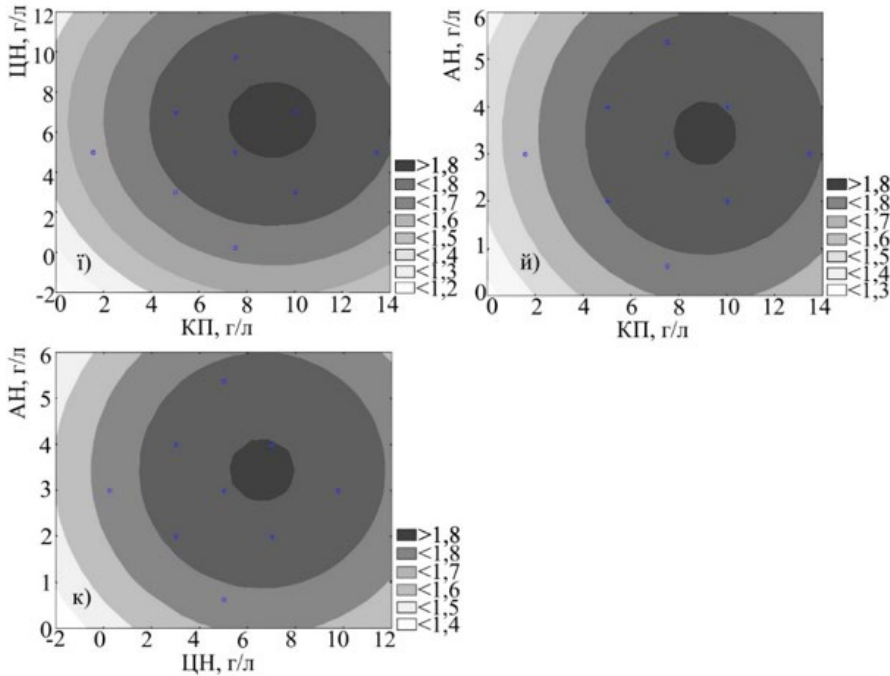


Рис. 2. Проекція поверхні відгуку оптичної густини (D , од) від концентрації компонентів поживного середовища (г/л): ж) ацетату натрію та дріжджового екстракту; з) казеїнового пептону та кукурудзяного екстракту; и) цитрату натрію та кукурудзяного екстракту; і) ацетату натрію та кукурудзяного екстракту; ї) цитрату натрію та казеїнового пептону; й) ацетату натрію та казеїнового пептону; к) ацетату натрію та цитрату натрію

Для перевірки теоретично одержаних результатів було проведено культивування бактеріальної композиції протягом 14 год за 37°C . До основи середовища додавали такі компоненти, г/л: глюкоза — 19,7; дріжджовий екстракт — 7,8; кукурудзяний екстракт — 23,6; казеїновий пептон — 9,1; цитрат натрію — 6,6; ацетат натрію — 3,4. Для контролю бактеріальну композицію культивували в МРС. У результаті перевірки значення оптичної густини для трьох реплік оптимізованого середовища одержане значення становило $2,01 \pm 0,01$, тоді як для середовища МРС значення оптичної густини було на рівні $1,08 \pm 0,02$.

Висновки

Для забезпечення ростових потреб триштамової бактеріальної композиції, до складу якої входять — *L. buchneri* 3806, *E. faecium* C-8-12 та *L. plantarum* 3796, теоретично розраховано й експериментально підтверджено склад поживного середовища для максимального накопичення біомаси, що може використовуватися як альтернатива для загально визнаного середовища МРС. Доведено, що в середовищі з оптимальними концентраціями компонентів можливе збільшення виходу біомаси бактерій майже вдвічі порівняно з МРС.

Використання ротатбельного центрально-композиційного плану дає змогу скоротити кількість дослідів та оптимізувати склад поживного середовища як для

монокультур, так і для їхніх композицій, що є перспективним при масштабуванні виробництва кінцевого продукту.

Література

1. Wegkamp A., Teusink B., De Vos W. M., Smid E. J. Development of a minimal growth medium for *Lactobacillus plantarum*. *Letters in applied microbiology*. 2010. Vol. 50, № 1. P. 57—64. doi: 10.1111/j.1472-765X.2009.02752.x.
2. Гизатова Н. В., Миронова И. В. Обоснование подбора видов микроорганизмов для обработки коллагенсодержащего сырья. *Инновационные технологии и технические средства для АПК: Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов*. 15-17 ноября, 2016, Воронеж, Российская Федерация. С. 149—152.
3. Кудряшов В. Л., Лукин Н. Д., Оверченко М. Б., Погоржельская Н. С., Постникова В. Е., Соколова Е. Н., Смирнова И. А., Фурсова Н. А. Ультраконцентрат кукурузного экстракта-перспективный компонент питательных сред: технология производства и перспектива использования. Материалы VII Международного научно-практического симпозиума «Перспективные ферментные препараты и биотехнологические процессы в технологиях продуктов питания и кормов». 09 апреля 2014, Москва, Российская Федерация. С. 379—385.
4. Дерунец А. С. Биологические основы совершенствования культивирования молочнокислых бактерий для разработки высокоэффективной технологии получения молочной кислоты. дис. ... канд. биол. наук: 03.01.06 / Российский химико-технологический университет им. Д. И. Менделеева. Москва, 2020. 185 с.
5. Polak-Berecka M., Waśko A., Kordowska-Wiater M., Podleśny M., Targoński, Z., Kubik-Komar A. Optimization of medium composition for enhancing growth of *Lactobacillus rhamnosus* PEN using response surface methodology. *Polish Journal of Microbiology*. 2010. Vol. 59, № 2. P. 113—118. doi: 10.33073/pjm-2010-017.
6. Desai K. M., Akolkar S. K., Badhe Y. P., Tambe S. S., Lele S. S. Optimization of fermentation media for exopolysaccharide production from *Lactobacillus plantarum* using artificial intelligence-based techniques. *Process Biochemistry*. 2006. Vol. 41, № 8. P. 1842—1848. doi: 10.1016/j.procbio.2006.03.037.
7. Hwang C. F., Chang J. H., Hwang J. Y., Tsai C. C., Lin C. K., Tsen H. Y. Optimization of medium composition for improving biomass production of *Lactobacillus plantarum* Pi06 using the Taguchi array design and the Box-Behnken method. *Biotechnology and bioprocess engineering*. 2012. Vol. 17, № 4. P. 827—834. doi: 10.1007/s12257-012-0007-4.
8. De Man J. C., Rogosa D. M., Sharpe M. E. A medium for the cultivation of Lactobacilli. *Journal of applied Bacteriology*. 1960. Vol. 23, № 1. P. 130—135. doi: 10.1111/j.1365-2672.1960.tb00188.x.
9. Chiang M. L., Chen H. C., Chen K. N., Lin Y. C., Lin Y. T., Chen M. J. Optimizing production of two potential probiotic *Lactobacilli* strains isolated from piglet feces as feed additives for weaned piglets. *Asian-Australasian journal of animal sciences*. 2015. Vol. 28, № 8. P. 1163—1170. doi: 10.5713/ajas.14.0780.
10. Домотенко Л. В., Шепелин А. П., Детушев К. В. Сравнительные испытания Лактобакара и MRS агары. *Человек и его здоровье*. 2014. № 4. С. 5—10.
11. Palles T., Beresford T., Condon S., Cogan T. M. (1998). Citrate metabolism in *Lactobacillus casei* and *Lactobacillus plantarum*. *Journal of Applied Microbiology*. 1998. Vol. 85, № 1. P.147—154. doi: 10.1046/j.1365-2672.1998.00486.x.

**MODERN INFORMATION SYSTEMS
AND TECHNOLOGIES IMPLEMENTATION
IN MANAGEMENT FOR INCREASING
COMPETITIVENESS OF ENTERPRISES**

N. Skopenko, I. Yevsieieva-Severyna
National University of Food Technologies

Key words:

*Information
Information technology
Information systems
Management
Competitiveness*

Article history:

Received 16.07.2020
Received in revised form
30.07.2020
Accepted 13.08.2020

Corresponding author:

N. Skopenko
E-mail:
skopnata67@gmail.com

ABSTRACT

The article is devoted to the research of modern information systems and technologies, comparison of their functional components, which guarantees the enterprises a qualitative solution of production and management tasks. The main benefits of informational and analytical support at the enterprises were defined. The most widespread information systems and technologies (MPR — Material Requirements Planning, ERP — Enterprise Resource Planning System, CRM — Customer Relationship Management, CALS — Continuous Acquisition and Life cycle Support, SAP — System Analysis and Program Development) were characterized. Comparison of characteristics and benefits of different information systems implementation allow to understand the possibilities of different tasks performance at the enterprises.

Business process management software allows the organization to use a system of integrated applications to manage business and to automate many back office functions related to technology, services and human resources. Such software typically integrates all facets of the operating activities, including product planning, development, manufacturing, sales and marketing and helps to improve accuracy of financial data, configure prices, standardize critical business procedures, facilitate better project planning, reduce redundant tasks etc.

The domestic information systems presented at the market were considered and their main benefits in comparison with foreign analogues were designated. The rational choice of information systems taking into account functional features and possibilities of the enterprises will help to receive and process the information faster, its transfer to various divisions, and consequently, will allow to accelerate acceptance of reasonable management decisions. Completing the most urgent and essential tasks, their quality performance and, consequently, better customer service will contribute to improving the competitiveness and image of the enterprise, forming the loyalty of all stakeholders to the company.

ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ І ТЕХНОЛОГІЙ В УПРАВЛІННІ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ПІДПРИЄМСТВ

Н. С. Скопенко, І. В. Євсєєва-Северина

Національний університет харчових технологій

Стаття присвячена дослідженню сучасних інформаційних систем і технологій, порівнянню їхніх функціональних компонентів, що гарантує підприємствам якісне вирішення виробничих та управлінських завдань. Окреслено основні переваги застосування інформаційно-аналітичного забезпечення на підприємствах. Виділено та охарактеризовано найбільш поширені інформаційні системи і технології (MPR — Material Requirements Planning — планування потреби в матеріалах, ERP — Enterprise Resource Planning System — система планування ресурсів підприємства, CRM — Customer Relationship Management — система управління взаємовідносинами з клієнтами, CALS — Continuous Acquisition and Life cycle Support — безперервна інформаційна підтримка поставок і життєвого циклу виробів, SAP — System Analysis and Program Development — системний аналіз і розробка програм). Порівняння характеристик і переваг використання різноманітних інформаційних систем розкриває можливості реалізації різних завдань на підприємствах.

Програмне забезпечення для управління бізнес-процесами забезпечує організації можливість використання системи інтегрованих додатків для управління бізнесом та автоматизувати багато функцій бек-офісу, пов'язаних з технологіями, послугами та людськими ресурсами. Таке програмне забезпечення, як правило, інтегрує всі аспекти операційної діяльності (включаючи планування продукції, розробку, виробництво, продаж і маркетинг), допомагає підвищити точність фінансових даних, встановити оптимальні ціни, стандартизувати критичні бізнес-процедури, полегшити планування проєктів, зменшити зайві завдання тощо.

Розглянуто вітчизняні інформаційні системи, що представлені на ринку та окреслено основні їхні переваги порівняно із закордонними аналогами. Раціональний вибір інформаційних систем з урахуванням функціональних особливостей і можливостей підприємств сприятиме більш швидкому отриманню та обробці інформації, її передачі різним підрозділам, дасть змогу прискорити прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Охоплення більшої сфери завдань, якісне їх виконання, а отже, і краще обслуговування споживачів, сприятиме покращенню конкурентоспроможності та іміджу підприємства, формуванню лояльності до компанії всіх стейкхолдерів.

Ключові слова: інформація, інформаційні технології, інформаційні системи, управління, конкурентоспроможність.

Постановка проблеми. Підвищення дієвості та ефективності систем управління підприємством неможливе без застосування сучасних інформаційно-комп'ютерних технологій для управління бізнес-процесами. Використання інформаційних систем (ІС) та інформаційних технологій (ІТ) в управлінні підприємством здійснюється з метою ефективної й оперативної комп'ютерної обробки інформаційних ресурсів, зберігання великих обсягів економічно важливої інформації та передачі її на будь-які відстані в мінімальні терміни. Своєчасне раціональне ведення виробничих та управлінських процесів сприятиме розвитку конкурентоспроможності підприємств і досягненню високих конкурентних позицій на ринку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблеми використання інформаційних систем і технологій в управлінні підприємством досліджували багато зарубіжних та вітчизняних науковців. У працях В. О. Новак, Ю. Г. Симоненка, В. П. Бондар, В. П. Матвєєва [1], І. В. Гордієнка [2], Г. М. Пурій [3] розглянуто загальні принципи і підходи до проблеми інформатизації управлінської діяльності, досліджено сутність та роль інформаційних систем і технологій у системі управління підприємством. Праці А. П. Оксанич [4], В. С. Пономаренка [5], М. А. Сендзюк [6], А. П. Сиротинської [7], М. М. Бенька [8], Г. І. Карімова [9] присвячені аналізу конкретних програмних засобів та методології вирішення окремих завдань управління за допомогою автоматизованих інформаційних систем.

Враховуючи стрімкість зміни інформаційних систем і технологій, необхідно постійно вивчати нові ІС та ІТ, розуміти їхню значущість і визначати сфери застосування для обґрунтування їх впровадження на підприємстві. Прийняття своєчасних управлінських рішень у різних сферах діяльності з використанням сучасного інформаційного забезпечення сприятиме підтриманню та розвитку конкурентоспроможності підприємств.

Метою статті є розгляд сучасних закордонних та вітчизняних інформаційних систем і технологій, їхніх характеристик, можливостей та доцільності використання на українських підприємствах. Необхідним є окреслення переваг різних інформаційних систем і технологій з метою їх раціонального вибору конкретним підприємством для досягнення бізнес-цілей та подальшого ефективного розвитку в конкурентному ринковому середовищі.

Викладення основних результатів дослідження. Стан фінансово-господарської діяльності підприємства безпосередньо залежить від рівня використання ним інформаційних систем і технологій, основною метою яких є ефективне управління інформаційними ресурсами з метою підвищення рівня ефективності підприємницької діяльності [3]. Проте значна кількість українських підприємств ще до сьогодні використовують інформацію несистемно, а невдале впровадження інформаційних технологій, зазвичай, пов'язують із недосконалістю технічних засобів. Зазначені проблеми актуалізують необхідність ІТ-модернізації більшості українських підприємств.

Вибір інформаційної системи, а також постановку завдань слід проводити з огляду на довгострокове економічне планування діяльності організації. Структура інформаційної системи та її функціональне призначення повинні відповідати цілям, які стоять перед конкретною організацією, а процес впровадження нової інформаційної технології має враховувати надзвичайно високу швидкість її змінюваності новими видами або версіями. Нехтування цим фактом може призвести до швидкого морального старіння інформаційної технології та необхідності вживання заходів щодо її модернізації. Оскільки основне завдання інформаційної системи підприємства полягає в підпорядкуванні всіх внутрішніх процесів головним цілям організації, то виконання поставлених завдань має відбуватися у єдиному інформаційному полі, адже лише за таких умов інформаційна озброєність організації починає безпосередньо впливати на ефективність її діяльності [3].

У сучасних умовах господарювання удосконалення інформаційно-аналітичного забезпечення системи управління підприємством має два вектори розвитку:

- удосконалення засобів пошуку, збору, збереження та розповсюдження інформації (комп'ютеризація системи бухгалтерського обліку та звітності);
- покращання процесу сприйняття, обробки та створення інформації, що сприяє підвищенню інтелектуального потенціалу суспільства, включаючи створення штучного інтелекту (комп'ютеризація, інтелектуалізація економічного аналізу та управління підприємством) [10].

Автоматизація й сучасне інформаційно-аналітичне забезпечення управління підприємством та окремими бізнес-процесами дає змогу прискорити досягнення заздалегідь сформульованих бізнес-результатів:

- досягнення синтезу знань, необхідних для своєчасного вирішення управлінських завдань;
- підвищення ефективності обміну даних як між підрозділами підприємства, так і між окремими бізнес-процесами забезпечення надійного обліку, контролю надходження та прозорості витрачання грошових коштів і матеріальних ресурсів;
- організація ефективного планування та прогнозування;
- оперативний звіт за аналізом діяльності всіх підрозділів підприємства;
- підвищення ефективності управління підприємством.

Раціональне поєднання організаційного, технологічного, інформаційного забезпечення індивідуальної й колективної діяльності сприяє чіткій орієнтації управлінського процесу на досягнення цілей та отримання високих результатуючих показників. Аналіз та управління бізнес-процесами із застосуванням новітніх інформаційних технологій сприяє швидкій адаптації підприємств до змін зовнішнього середовища, що забезпечує подальше функціонування в умовах висококонкурентних ринків.

Сьогодні в Україні під інформаційною системою в більшості випадків розуміють автоматизовані системи [11]. Досягнення світової практики автоматизації управління економічною діяльністю сконцентровані у функціонально розвинутих інформаційних системах, що реалізують рекомендації (стандарти) щодо управління, в основу якого покладений процесний підхід. Це системи класів MRP, ERP, CRM.

MRP (англ. Material Requirements Planning — планування потреби в матеріалах) — система планування потреб у матеріалах. Це одна з найбільш популярних у світі логістичних концепцій, на основі якої розроблена і функціонує велика кількість мікрологістичних систем. На основі концепції MRP побудовані логістичні системи «штовхального типу».

MRP-система застосовується при роботі з матеріалами, компонентами, напівфабрикатами та їхніми частинами, попит на які залежить від попиту на специфічну готову продукцію, тобто попит на вихідні матеріальні ресурси дуже залежить від попиту споживачів на кінцеву продукцію. Також MRP-система може працювати із широкою номенклатурою матеріальних ресурсів.

Поява більш розвиненої концепції MRP II і розвиток програмних систем класу ERP, зниження їхньої вартості призвело до того, що програмні продукти класу MRP можна зустріти дуже рідко, як правило, в базі застарілих інформаційних систем підприємств [11].

MRP II (англ. Manufacturing Resource Planning — планування виробничих ресурсів) — стратегія виробничого планування, яка передбачає як операційне, так і фінансове планування виробництва, що забезпечує більш широке охоплення ресурсів підприємства, ніж MRP.

MRP II задає принципи моделювання та обліку виробництва, детального планування: виробництва підприємства, що включає облік замовлень; завантаження виробничих потужностей; потреби у всіх ресурсах виробництва (матеріали, сировина, комплектуючі, обладнання, персонал); виробничих витрат; оперативного коригування плану та виробничих завдань.

На відміну від MRP, у системі MRP II проводиться планування не тільки в матеріальному, але й у грошовому вираженні [12]. Стратегія ERP вважається розвитком MRP II.

ERP-система (англ. Enterprise Resource Planning System — система планування ресурсів підприємства) — корпоративна інформаційна система, призначена для автоматизації обліку й керування, що дає змогу здійснювати планування та керування всіма ресурсами підприємства (від постачання до реалізації готової продукції). Як правило, ERP-системи будуються за модульним принципом та охоплюють усі ключові процеси діяльності компанії. Ці системи поєднують у собі функції обліку, управління, контролю й аналізу одночасно, сприяють реалізації кращих світових практик ведення бізнесу.

Порівняння завдань, що реалізуються представленими інформаційними системами, наведено в табл. 1.

Використання цих ІС зумовлює покращення операційної ефективності компаній, гнучкості та ресурсоефективності, сприяє координації інновацій, мінімізації ризиків, зниженню витрат, досягненню синергетичного ефекту, автоматизації та узгодженню дії всіх відділів підприємства, забезпечує успішну реалізацію стратегічних програм, зростання конкурентних переваг. У цілому це сприяє підвищенню економічної безпеки підприємства, тобто його захищено-

сті від негативних змін чинників зовнішнього середовища через вміння швидко реагувати на них. Високий рівень економічної безпеки є гарантією сильної конкурентної позиції та ефективної діяльності підприємства.

Таблиця 1. Порівняння можливостей різних інформаційних систем, [13; 14]

Завдання, що реалізуються	Різновиди інформаційних систем		
	MRP	MRP II	ERP
Планування виробничого процесу	+	+	+
Специфікація матеріалів	+	+	+
Відслідковування запасів	+	+	+
Планування виробничої потужності	—	+	+
Прогнозування попиту	—	+	+
Забезпечення та контроль якості	—	+	+
Загальний бухгалтерський облік	—	+	+
Робота з основними фінансовими показниками	—	—	+
Система управління взаємовідносинами з клієнтами (CRM)	—	—	+
Управління ланцюгами поставок	—	—	+
Управління людськими ресурсами	—	—	+
Управління активами підприємства	—	—	+
Автоматизація виробництва	—	—	+
Управління проектами	—	—	+

CRM-система (англ. Customer Relationship Management — система управління взаємовідносинами з клієнтами) — прикладне програмне забезпечення для організацій, призначене для автоматизації стратегій взаємодії із замовниками (клієнтами), зокрема для підвищення рівня продажів, оптимізації маркетингу, покращання обслуговування клієнтів шляхом збереження клієнтської інформації та історії взаємин з ними, встановлення й поліпшення бізнес-процесів і подальшого аналізу результатів.

CRM-модель взаємодії, заснована на теорії, згідно з якою центром усієї філософії бізнесу є клієнт, а головними напрямками діяльності компанії є заходи щодо забезпечення ефективного маркетингу, продажів і обслуговування клієнтів. Підтримка цих бізнес-цілей включає збір, зберігання й аналіз інформації про споживачів, постачальників, партнерів, а також про внутрішні процеси компанії. Функції для підтримки цих бізнес-цілей включають продажі, маркетинг, підтримку споживачів [15].

CALS-технології (англ. Continuous Acquisition and Life cycle Support — безперервна інформаційна підтримка поставок і життєвого циклу виробів), або PLM (англ. Product Lifecycle Management — управління життєвим циклом продукту) — підхід до проектування й виробництва високотехнологічної і наукомісткої продукції, що полягає у використанні комп'ютерної техніки та інформаційних технологій на всіх стадіях життєвого циклу виробу [16].

За рахунок безперервної інформаційної підтримки забезпечуються оптимальні способи управління процесами та взаємодії всіх учасників цього циклу: замовників продукції, постачальників та/або виробників продукції, експлуатаційного та ремонтного персоналу. Інформаційна підтримка реалізується відповідно

до вимог системи міжнародних стандартів, що регламентують правила взаємодії переважно за допомогою електронного обміну даними.

CALS-технології сприяють формуванню повного циклу процесу проектування та впровадження нових виробів: починаючи з етапу дослідження і розробки виробу до етапу його виведення на ринок (комплекс заходів щодо маркетингу та післяпродажного сервісу). Сама назва свідчить про безперервну роботу в напрямку постійного розвитку продукту внаслідок ринкових трансформацій і змін (технологічні зрушення, вподобання споживачів тощо). CALS-метод визначає інформаційний простір підприємства для сприяння акумуляції інформації з різних джерел, враховуючи якісні характеристики продукції, рівень існуючих стандартів (галузевих, державних, міжнародних), зміну технологічних процесів і вимог сучасних споживачів [17].

Застосування CALS-технологій дає змогу істотно скоротити обсяги проектних робіт, тому що опис багатьох складових частин обладнання, машин і систем, які були розроблені раніше, зберігається в уніфікованих форматах даних мережесерверів, доступних будь-якому користувачеві. Істотно полегшується вирішення проблем ремонтпридатності, інтеграції продукції в різного роду системи і середовища, адаптації до мінливих умов експлуатації, спеціалізації проектних організацій тощо.

Серед досягнень CALS-технологій необхідно відзначити легкість поширення передових проектних рішень, можливість багаторазового відтворення частин проекту в нових розробках тощо.

SAP (нім. Systemanalyse und Programmentwicklung, англ. System Analysis and Program Development — системний аналіз і розробка програм). SAP SE — німецька корпорація-розробник програмного забезпечення та надавач послуг консалтингу, яка виробляє ІС та корпоративні програмні продукти й забезпечує інформаційну підтримку для компаній будь-якого розміру в усьому світі. Компанія пропонує комплексні рішення для будь-яких бізнес-процесів в усіх галузях, що допомагають працювати краще, швидше та простіше в масштабах усього підприємства. Найвідомішим продуктом компанії SAP є її програмне забезпечення для планування ресурсів підприємства.

Система SAP — це корпоративне програмне забезпечення, за допомогою якого можна автоматизувати професійну діяльність представників різних спеціалізацій. Такі програми розробляються з урахуванням особливостей конкретної галузі та окремого підприємства. Ознаки, що характеризують цей продукт, такі: велика функціональність; інтеграція всіх бізнес-процесів підприємства; модульний принцип побудови, який забезпечує ізольоване використання окремих компонентів системи або їхніх комбінацій; розвинута система звітності, в якій кожна операція потрапляє до різних видів звітності; відкритість, можливість формування власних програмних продуктів у середовищі системи; підтримка різних мов; доступ у систему протоколюється відповідно до прав користувача; сучасні технологічні підходи на базі архітектури клієнт-сервер; система налаштовується доступними користувачу засобами з урахуванням особливостей конкретного підприємства; можливі зміни й оновлення протягом усього часу експлуатації продукту [18].

Аналіз інформаційних систем і технологій, що найчастіше застосовуються в практиці суб'єктів господарювання, представлено в табл. 2.

Таблиця 2. Порівняльна характеристика інформаційних систем і технологій, [19; 20]

Характеристика	Інформаційні системи та технології				
	MRP I / MRP II	ERP	CRM	CALS	SAP
1. Об'єкт управління	матеріальні потоки	бізнес-процеси підприємства	інформаційні потоки	інформаційні потоки	наскрізні бізнес-процеси
2. Галузь використання	виробництво, запаси	виробництво, планування, фінанси, постачання, управління кадрами, збут	збут	постачання, етапи життєвого циклу виробу	виробництво, планування, фінанси, постачання, управління кадрами збут
3. Сфера використання	господарська, фінансова (лише MRP II)	фінансова, господарська	розподіл	етапи життєвого циклу товару	всі сфери діяльності на рівні середніх, великих підприємств
4. Тип системи	шттовхальна	шттовхальна	шттовхальна	шттовхальна	шттовхальна
5. За видом ЛІС	диспозитивна	планова	оперативна	планова	планова, оперативна
6. Поширення	локальна	глобальна	територіальна	глобальна	глобальна
7. Ядро системи	виробництво на основі інформації про матеріальні ресурси	система управління базою даних	«клієнтоорієнтований» підхід	інтегрована база даних	фінанси, контролінг
8. Рівень використання	мікро-, мезорівень	мікро-, мезо-, макрорівень	мікро-, мезо-, макрорівень	мікро-, мезо-, макрорівень	мезо-, макрорівень
9. Концепція, що використовується	логістична концепція	логістична і маркетингова концепція	соціально-етичного маркетингу	маркетингу, логістики, менеджменту якості	інтегрованої логістики
10. За можливістю інтеграції з іншими системами	закрита система	слабоінтегрована система	закрита система	слабоінтегрована система через стандартизацію	повна інтеграція і підтримка ERP, EAM, CRM, SCM, APS, PLM технологій
11. Ефект	оптимізація управління матеріальними потоками	оптимізація усіх бізнес-процесів	оптимізація за рахунок підтримки зв'язків з клієнтами	оптимізація завдяки стандартизації та підвищення якості	оптимізація всіх бізнес-процесів всередині підприємства та між багатьма підприємствами

Впровадження ефективної ІС забезпечуватиме безперервний облік і контроль за станом та рухом товарно-матеріальних, фінансових, людських ресурсів на підприємстві, отримання даних про результати діяльності підприємства в режимі реального часу, оперативну підготовку аналітичних документів, прогнозів і планів робіт підприємства, підвищення ефективності прийняття управлінських рішень на основі достовірної та повної інформації про діяльність підприємства, яка доступна на будь-який момент часу.

Окреслені завдання в повному обсязі реалізують ERP-системи, метою впровадження яких є організація внутрішніх і зовнішніх інформаційних потоків. ERP-системи є досить дорогими. Проекти їх впровадження передбачають перегляд бізнес-процесів компанії, розробку нової моделі, налаштування базової версії системи під конкретне підприємство, навчання співробітників.

Проте після впровадження ERP-систем компанія скорочує загальні витрати за рахунок більш ефективного використання ресурсів. Досвід підприємств, що успішно використовують інформаційні системи, показує, що завдяки їхньому впровадженню скорочуються складські запаси підприємства (в середньому на 21,5%), підвищується продуктивність праці (на 17,5%), збільшується кількість виконаних замовлень (на 14,5%) [21].

На вітчизняному ринку представлена значна кількість закордонних і вітчизняних систем класу ERP [22]. Найбільш поширені зарубіжні ERP-системи: SAP (розробка німецької компанії SAP SE); Oracle (розробник — американська корпорація Oracle Corporation), Microsoft Dynamics (компанія Microsoft), Infor (американська компанія Infor); IFS (шведська компанія IFS); HansaWorld (шведська компанія HansaWorld); Epicor (американська компанія Epicor); 1С:ERP (розробник російська компанія 1С).

Необхідно зазначити, що системи іноземної розробки, зокрема SAP і аналогічні продукти, не мають податкових модулів, що потребує додаткових інвестицій на їхню розробку та впровадження.

Значна вартість закордонних ERP-систем та заборона використання російських програмних продуктів відповідно до Указу Президента України [23] збільшує інтерес до вітчизняного інформаційного забезпечення управління підприємствами та окремими бізнес-процесами.

На українському ринку представлені такі вітчизняні ERP-розробки:

- програмне забезпечення IT-Enterprise — розробник IT-Enterprise. Гнучкість ERP-системи IT-Enterprise дає змогу застосовувати її у будь-якій галузі, налаштовувати під будь-які потреби. Рішеннями компанії IT-Enterprise користуються найбільші підприємства України як у приватному секторі, так і в державному секторі [24];

- «Універсал» — розробник СофтПро. Комплекс Універсал 7 — це ERP-платформа, що масштабується та налаштовується для побудови інформаційних систем, що працюють і різних галузях. Понад 300 компаній різних галузей в Україні використовують програмний комплекс Універсал [25];

- програмне забезпечення BSI — розробник «Бізнес Сервіс». Клієнтами є підприємства оптової та роздрібною торгівлі, виробничі та підприємства з виробництва харчових продуктів, фінансові установи [26];

- програмний продукт ISpro — розробник «Інтелект-Сервіс». Програма автоматизації процесів роботи підприємства ISpro являє собою набір взаємопов'язаних модулів (підсистем), які мають певну самостійність, що дає змогу збирати програмний комплекс виключно під потреби замовника. На сьогодні клієнтами системи ISpro є більше 6500 підприємств, організацій та установ України [27];

- UnityBase — розробник Intecracy Base. UnityBase — платформа для швидкого створення високопродуктивних web-орієнтованих корпоративних систем для великих організацій зі складною ієрархічною структурою та філіями. UnityBase враховує новітні методики організації та управління ІТ-активами. На платформі вже реалізовано понад 500 проектів у державному та приватному секторах [28];

- Галактика ERP. Розробник — компанія «Галактика». Система складається з різних програмних модулів, кожний з яких відповідає за автоматизацію конкретних профільних завдань. Модулі можна підбирати індивідуально, залежно від потреб і технічних можливостей підприємства. Система «Галактика ERP» підтримує ведення обліку в чотирьох контекстах: бухгалтерський (згідно з НСБО), податковий, управлінський та згідно з МСФЗ. Понад 200 вітчизняних підприємств різних галузей впровадили цю систему [29];

- Парус-Підприємство 8. Розробник — група компаній «Парус». Система призначена для використання на великих підприємствах різної галузевої спрямованості, в корпоративних структурах (холдингах). Система створена на базі СУБД ORACLE в архітектурі «клієнт-сервер» з використанням сучасних технологій обробки інформації та підготовки документів MS Office і Seagate Crystal Reports, має модульну структуру. Кожен із модулів може працювати як у взаємодії з іншими модулями системи, так і автономно. Завдяки такому принципу побудови системи існує можливість поступового нарощування її можливостей у міру розширення автоматизації управління підприємством [30];

DeloPro — розробник КСИКОМ СЕРВІС. Система DeloPro 5.0 — комплексне ERP-рішення, в основу якого покладено сучасні концепції ведення бізнесу — CRM (управління взаєминами з контрагентами), SCM (управління ланцюгами поставок), DCM (управління ланцюгами попиту), HRM (управління персоналом), BPM (управління бізнес-процесами) і електронна комерція (B2B). Система реалізована на базі WEB-технологій [31];

Вважаємо необхідним зазначити переваги вітчизняних ERP-систем:

- системи розроблені з урахуванням потреб і специфіки роботи вітчизняних підприємств, побудовані на законодавчому полі України;

- враховано світовий досвід створення та експлуатації великих систем управління;

- при конкуруючій із закордонними продуктами функціональності вартість українських ERP-систем у кілька разів нижча;

- більшість ПП відносяться до класу «бізнес-конструкторів», які можна налаштувати під будь-яку сферу діяльності, впроваджувати на диверсифікованих підприємствах, у корпораціях і холдингах, що поєднують різні види бізнесу;

- використовується як процесний, так і функціональний підходи до управління підприємством.

Майже всі зазначені розробники ERP-систем пропонують різноманітні продукти та рішення, що допоможуть провести цифрову трансформацію компаній середнього та малого бізнесу. Так, СофтПро пропонує програмне забезпечення Універсал SBE (для малого бізнесу) та Універсал MBE (для середнього бізнесу). На основі досвіду розробок і впровадження кращих рішень IT-Enterprise на підприємствах-флагманах українського бізнесу створені програмні продукти MASTER для підприємств малого і середнього бізнесу та бюджетних установ України. Крім того, IT-Enterprise запроваджує ПП, спрямовані на вирішення індивідуальних завдань та оптимізацію окремих сфер діяльності (закупівля та склад, продажі, ремонт тощо).

Розробники ERP-систем також пропонують так звані SaaS-рішення (Software as a service) для середніх і малих підприємств. Це готові хмарні попередньо налаштовані рішення, які можна легко запустити в браузері. Для одного співробітника компанії робота з таким рішенням обійдеться приблизно в 20—40 дол. США щомісяця.

На ринку також представлені облікові системи української розробки, придатні для невеликих компаній, що коштують набагато дешевше, ніж ERP-системи, адже їхні функції більш обмежені. Зокрема, програмне забезпечення М.Е.Дос, «Дебет Плюс», «Акцент», «АБ-Офіс», «Підприємець 4», «Елфі», «ІН-ФОПОЛІС», Tria та iFin [32—35].

Необхідно зауважити, що зазначені облікові системи значно відрізняються між собою за обсягом доступних функцій. Наприклад, програми М.Е.Дос та iFin дають змогу здавати електронну звітність до фіскальної служби, реєструвати податкові накладні в електронному вигляді, а також обмінюватися документами з підприємствами-партнерами; у пропозиціях компанії «Акцент» є адаптовані версії для виробничих, аграрних підприємств і торговельних компаній.

Суб'єкти господарювання орієнтуються на більш економічні й ефективні у впровадженні інформаційні системи, крім того, відбувається зростання попиту щодо автоматизації абсолютно конкретних бізнес-процесів, а не діяльності компанії в цілому. Користувач потребує інструменту, що швидко вирішує функціональні завдання обліку й аналізу, має зручний і зрозумілий інтерфейс, забезпечує підтримку, доступні навчальні матеріали. Саме тому вибір альтернативного програмного продукту ґрунтується на системному підході та забезпечується раціональністю управлінського рішення.

Висновки

Застосування інформаційних систем та інформаційних технологій для управління підприємством має великий вплив на життєздатність і конкурентоспроможність організації за рахунок підвищення її керованості й адаптованості до змін ринкової кон'юнктури.

Динамізм зовнішнього середовища, швидкість ринкових трансформацій і зміни в потребах споживачів вимагають від підприємств прорахованих кроків для забезпечення ефективного функціонування з огляду на сучасні тенденції

розвитку інформаційних систем і технологій. Застосування новітніх інформаційних систем і технологій сприяє прискоренню вирішенню управлінських завдань шляхом кращої координації роботи всіх підрозділів, досягненню мети підприємства з мінімальним раціональним використанням усіх наявних ресурсів.

Конкуренція спонукає суб'єктів господарювання до постійного оновлення та розвитку, а отже, гарантує споживачам отримання необхідної продукції з покращеними характеристиками. Залежно від рівня розвитку, конкурентного статусу, сфери діяльності і перспектив зростання кожне підприємство, володіючи необхідними знаннями про різновиди інформаційних систем та враховуючи їхні особливості, обирає саме ту, що найкращим чином задовольнить його потреби. Скоординована робота, своєчасність інформації та обґрунтованих рішень забезпечують досягнення високих показників діяльності і сприяють формуванню конкурентних переваг підприємств.

Отже, впроваджуючи сучасні інформаційні системи й технології підприємства одержують певні переваги, пов'язані з удосконаленням обліку, контролю, аналізу, поліпшенням зв'язків з клієнтами, оптимізацією матеріалопотоків, підвищенням якості й управління бізнес-процесами та підприємством у цілому (оптимізація бізнес-процесів, стабільність та уніфікація всіх процесів управління підприємством тощо).

Перспективою подальших досліджень буде порівняння переваг і недоліків встановлення різних інформаційних систем на вітчизняних підприємствах з урахуванням галузевої специфіки їх функціонування, розміру, наявності фінансових ресурсів тощо. Доцільним також вважаємо залучення зарубіжних практик використання інформаційних систем на потужних підприємствах ЄС, аналізуючи конкретні потреби компаній.

Література

1. Інформаційні системи в менеджменті / Новак В. О., Симоненко Ю. Г., Бондар В. П., Матвєєв В. П. К.: Каравела, 2008. 616 с.
2. Гордієнко І. В. Інформаційні системи і технології в менеджменті. К.: КНЕУ, 2003. 259 с.
3. Пурий Г. М. Інформаційні системи і технології в управлінні діяльністю підприємства. Ефективна економіка. 2019. № 6. URL: <http://ojs.dsau.dp.ua/index.php/efektyvna-ekonomika/article/view/1998>.
4. Оксанич А. П. Інформаційні системи і технології маркетингу. К.: Професіонал, 2008. 320 с.
5. Пономаренко В. С. Інформаційні системи в управлінні персоналом. Харків: ХНЕУ, 2008. 336 с.
6. Сендзюк М. А. Інформаційні системи в державному управлінні. К.: КНЕУ, 2004. 339 с.
7. Сиротинська А. П. Інформаційні системи підприємств малого бізнесу. К.: Центр учбової літератури, 2008. 264 с.
8. Бенько М. М. Інформаційні системи і технології в бухгалтерському обліку: монографія. К.: Київ. нац. торг.-екон. ун-т, 2010. 336 с.
9. Карімов Г. І. Сучасні інформаційні технології у сфері управління якістю. Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету. Технічні науки. 2015. Вип. 2. С. 169—173. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpddtu_2015_2_33.
10. Бутко А. Д. Теорія економічного аналізу : підручник. К.: Київ. нац. торг.- екон. ун-т, 2005. 411 с.
11. Войтко С. В. Управління розвитком наукомістких підприємств: монографія. Нац. техн. ун-т України «Київ. політехн. ін-т». К.: НТУУ «КПІ», 2012. 277 с.

12. Гаврилов Д. А. Управление производством на базе стандарта MRP II. 2-е изд. СПб.: Питер, 2005. 416 с.
13. Taylor Short MRP vs. MRP II: What's the Difference? URL: <https://www.softwareadvice.com/resources/mrp-vs-mrp-ii-whats-the-difference>.
14. MRP II — планування виробничих ресурсів URL: <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/manufacturing-resource-planning-mprii>.
15. Гринберг Пол. CRM со скоростью света — CRM at the speed of light. СПб.: Символ Плюс, 2007. 528 с.
16. Основы CALS-технологий. URL: [/http://bigor.bmstu.ru/%3Fcnt/%3Fdoc%3DDefault/110 CALS.cou](http://bigor.bmstu.ru/%3Fcnt/%3Fdoc%3DDefault/110%3FCALS.cou).
17. Shangina E. The introduction of CALS-Technologies in Russia. URL: <http://www.researchgate.net/publication/340303317>.
18. SAP. Офіційний сайт. URL: <https://www.sap.com/ukraine/index.html>.
19. Кривов'язюк І. В., Усков О. Р. Управління логістичними інформаційними системами підприємства: монографія. Львів: Манускрипт, 2011. 140 с.
20. Крайчук С. О. Стан запровадження інформаційних технологій в управлінні сучасними підприємствами Ефективна економіка. 2016. № 4. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=4892>.
21. Обзор рынка автоматизированных систем бухгалтерского учета. URL: https://stimul.kiev.ua/articles.htm?a=obzor_gynka_avtomatizirovannykh_sistem_bukhgalterskogo_ucheta.
22. Топ 10 ERP систем для Украины. URL: <https://www.livebusiness.com.ua/tools/erp>.
23. Указ Президента України № 184/2020 «Про рішення Ради національної безпеки і оборони України «Про застосування, скасування і внесення змін до персональних спеціальних економічних та інших обмежувальних заходів (санкцій)» від 14 травня 2020 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/n0004525-20#n2>.
24. IT-Enterprise. Офіційний сайт. URL: <https://www.it.ua/about-company>.
25. СофтПро. Офіційний сайт. URL: <https://www.wgsoftpro.com/2017/main.php#features7-21>.
26. Бізнес Сервіс. Офіційний сайт. URL: <http://bsi-erp.com/o-kompanii>.
27. Интеллект-Сервис. Офіційний сайт. URL: <https://ispro.ua/uk/clients>.
28. Intecrasy Base. Офіційний сайт. URL: <https://inbase.com.ua/ua/about.html>.
29. Галактика. Офіційний сайт. URL: <http://galaktika.ua/blog/upravlinnya-pidpriyemstvom-erp.html?lang=uk>.
30. Парус. Офіційний сайт. URL: <http://www.parus.ua/ua/139>.
31. Ксиком сервіс. Офіційний сайт. URL: <https://www.delopro.com.ua/products/index.php>.
32. Альтернатива 1С: Чем украинский бизнес может заменить российскую систему бухучета. URL: <https://delo.ua/economyandpoliticsinukraine/alternativa-1s-chem-ukrainskij-biznes-mozhet-zamenit-rossijskuju-331006>.
33. Обзор рынка автоматизированных систем бухгалтерского учета. URL: https://stimul.kiev.ua/articles.htm?a=obzor_gynka_avtomatizirovannykh_sistem_bukhgalterskogo_ucheta.
34. MASTER-альтернатива: сучасний комплексний облік для бюджетних установ. URL: https://masterbuh.com/12_06_18_master_alternativa_suchasnij_kompleksnij_oblik_dlya_byudzheta.
35. Бухгалтер 911. URL: <http://bukhalter911.com/Res/PO/avtomat.aspx>.

ASSESSMENT OF LIQUIDITY AND SOLVENCY OF THE PLANT OF CONFECTIONERY INDUSTRY

H. Rohanova, K. Shcherbakova

National University of Food Technologies

Key words:

*Liquidity,
Solvency,
Assets,
Liability,
Balance,
Balancing matrix,
Confectionery industry*

Article history:

Received 07.07.2020
Received in revised form
22.07.2020
Accepted 06.08.2020

Corresponding author:

H. Rohanova

E-mail:

hanna.rohanova@
gmail.com t

ABSTRACT

In the paper liquidity and solvency as categories of corporate finance have been researched. The differences in interpreting the concepts of liquidity and solvency, as well as the inconsistencies between them and other indicators of the financial state of enterprises have been revealed.

The aim of the article was to determine the degree of liquidity and solvency of the object under study by using various research methods (the ratio analysis, the analysis of the balance sheet and liquidity balancing matrix) and to develop the measures to improve liquidity and solvency of the confectionery industry.

Solvency and liquidity indicators for “AVK Mukachevo Confectionery Factory” for 2015—2017 have been calculated. It has been determined that the solvency of business entities was expressed through the liquidity of their balance sheet. The classification of balance sheet assets of the enterprise depending on the liquidity and liabilities of the balance sheet according to their repayment period have been studied. It has been defined that during the period under study the liquidity of the balance sheet was not absolute, there was a deficit of absolutely liquid working assets, the lack of volumes of stocks and finished products, and significant excess of receivables over accounts payable, and, consequently, the company could not pay its current liabilities.

It has been determined that the best way to study the possible risk of unbalanced liquidity is to make a matrix of its balancing. The results of the analysis confirm the unbalanced liquidity, namely, the lack of own liquid resources and the insolvency of the enterprise.

The main factors that have an impact on the liquidity and solvency of the enterprise have been identified, and the measures to improve the solvency and liquidity management have been suggested.

ОЦІНКА ЛІКВІДНОСТІ ТА ПЛАСПРОМОЖНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА КОНДИТЕРСЬКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Г. О. Роганова, К. В. Щербакова

Національний університет харчових технологій

У статті досліджено такі категорії фінансів підприємств, як «ліквідність» і «платоспроможність». Виявлено відмінності у тлумаченні понять ліквідності та платоспроможності, а також суперечливість взаємозв'язків між ними та іншими показниками фінансового стану підприємств.

З'ясовано ступінь ліквідності та платоспроможності об'єкта дослідження за допомогою різних методів дослідження (коефіцієнтного аналізу, аналізу балансу підприємства та матриці збалансування ліквідності).

Розраховано показники платоспроможності та ліквідності для «Кондитерської фабрики «А.В.К.» м. Мукачєво» за період 2015—2017 років. Визначено, що ступінь платоспроможності суб'єктів підприємництва виражається через ліквідність їхнього балансу. Досліджено класифікацію активів балансу підприємства залежно від ступеня ліквідності та пасивів балансу залежно від термінів їх погашення. З'ясовано, що протягом дослідженого періоду ліквідність балансу підприємства не була абсолютною, спостерігався дефіцит абсолютно ліквідних оборотних активів, недостатність обсягів запасів і готової продукції, значне перевищення сум дебіторської заборгованості над кредиторською, та, як наслідок, неспроможність підприємства сплачувати свої поточні зобов'язання.

З'ясовано, що оптимальним методом здійснення дослідження можливого ризику незбалансованої ліквідності є побудова матриці її балансування. Результати проведеного аналізу підтверджують незбалансовану ліквідність, зокрема нестачу власних ліквідних ресурсів і виникнення стану неплатоспроможності підприємства.

Визначено основні фактори впливу на ліквідність і платоспроможність підприємства та запропоновано заходи щодо вдосконалення управління платоспроможністю та ліквідністю.

Ключові слова: ліквідність, платоспроможність, активи, пасиви, баланс, матриця збалансування, кондитерська промисловість.

Постановка проблеми. Оцінювання ступеня ліквідності та платоспроможності суб'єкта господарювання посідає важливе місце в аналізі якості здійснення здебільшого операційної діяльності будь-якого підприємства. При визначенні ліквідності головна складність полягає в тому, що існують суперечності в трактуванні й розрахунку її показників і методики визначення, бази та джерел даних. Застосування різних підходів, своєю чергою, призводить до суперечливих результатів і хибних висновків [1, с. 126].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням розуміння та визначення ліквідності й платоспроможності підприємств приділяли увагу багато вітчизняних і закордонних вчених. Так, у [2, с. 83] автори стверджують, що основними

показниками стабільного фінансового стану суб'єкта підприємництва є платоспроможність, ліквідність і фінансова стійкість. Відмінності між розумінням ліквідності та платоспроможності пояснюють таким чином: показники ліквідності базуються на порівнянні ліквідних активів з поточними зобов'язаннями і показують спроможність підприємства покривати свої короткострокові борги і зобов'язання; показники платоспроможності показують можливість підприємства оплачувати всі свої зобов'язання (коротко- і довгострокові) і необов'язково ґрунтуються на ліквідних активах. Звідси випливає, що показники ліквідності є також і показниками платоспроможності, а показники платоспроможності необов'язково є показниками ліквідності. Автор статті [3, с. 45] також вважає що не слід ототожнювати ліквідність підприємства з його платоспроможністю. Але, на думку автора публікації, поняття ліквідності вважається ширшим за поняття платоспроможності, оскільки ліквідність відображає спроможність підприємства розраховуватися власними оборотними активами (шляхом швидкого перетворення їх у гроші) по своїх поточних зобов'язаннях, а платоспроможність передбачає здатність розраховуватися лише наявними грошовими коштами та їх еквівалентами.

Ліквідність як економічна категорія знаходиться в центрі уваги не тільки теоретичних досліджень. Особливої актуальності останніми роками набули питання її визначення, оцінки та управління, оскільки економічна криза дестабілізує фінансовий стан, що вимагає постійного контролю фінансових показників підприємств [1, с. 126]. Значне місце в дослідженнях зарубіжних вчених займає виявлення факторів позитивного та негативного впливу на ліквідність підприємств і навпаки. У [4] визначено внутрішні чинники, що суттєвим чином впливають на ліквідність компанії, — відношення боргу до доходу, та зовнішні чинники, такі як інфляція, стандартне відхилення та обмінний курс. Результати дослідження [5] показали, що показники ліквідності, платоспроможність, зростання компанії та розмір підприємства не є факторами, що впливають на дивідендну політику. У публікації [6] автори дійшли висновку, що ліквідність компанії та її розмір не впливають на якість прибутку. Таких результатів автори досягли за допомогою панельного аналізу регресії даних і побудови рівнянь лінійної регресії у програмі SPSS тощо.

Відмінності у тлумаченні понять ліквідності та платоспроможності, а також суперечливі результати виявлення взаємозв'язків між ними та іншими показниками оцінювання фінансового стану суб'єктів підприємництва зумовили актуальність обраної теми.

Метою статті є дослідження ступеня ліквідності та платоспроможності підприємства кондитерської промисловості і розробка заходів щодо підвищення його ліквідності.

Викладення основних результатів дослідження. Методологія аналізу ліквідності підприємства передбачає дослідження абсолютних і відносних показників, що її характеризують [1, с. 128]. Таке дослідження із застосуванням коефіцієнтного аналізу ліквідності дає змогу правильно оцінити рівень ліквідності підприємства, як наслідок, надалі ефективно управляти його зобов'язаннями, створити позитивну репутацію підприємства, здатного виконувати свої платіжні

зобов'язання [2, с. 85]. До коефіцієнтів ліквідності належать коефіцієнт загальної, швидкої, абсолютної, критичної ліквідності та інші додаткові показники платоспроможності. Використання цих коефіцієнтів ускладнюється через різні варіанти назв, розбіжності в алгоритмі розрахунку та обґрунтуванні нормативних значень.

Узагальнення інформації з джерел [7], [1, с. 132], [8, с. 89—90] дало змогу скласти розширений перелік показників ліквідності та загальної платоспроможності із зазначенням оптимальних меж показників. Результати розрахунків показників на прикладі ПАТ «Кондитерська фабрика «А.В.К.» м. Мукачево» за 2015—2017 рр. наведені у табл. 1.

Таблиця 1. Коефіцієнтний аналіз ліквідності та платоспроможності досліджуваного підприємства (2015—2017 рр.)

Показник	Норматив	2015 р.	2016 р.	2017 р.	Відхилення		
					2016—2015	2017—2016	2017—2015
1	2	3	4	5	6	7	8
1. Коефіцієнт абсолютної ліквідності	0,2—0,35	0,003	0,000	0,001	-0,003	0,001	-0,002
2. Коефіцієнт швидкої ліквідності	0,6—0,8	0,065	0,080	0,079	0,015	-0,001	0,013
3. Коефіцієнт поточної ліквідності	>1	0,072	0,087	0,085	0,015	-0,002	0,013
4. Коефіцієнт критичної ліквідності	0,5—0,7	0,07	0,08	0,08	0,01	0,00	0,01
Маневреність власних оборотних коштів	0—1, зростання	-15,95	-13,10	-13,27	2,84	-0,16	2,68
Частка оборотних коштів в активах, %	Не нормується, залежить від специфіки діяльності підприємства	0,86	1,03	1,06	0,17	0,04	0,21
Частка власних оборотних коштів в загальній їх сумі, %		-13,68	-13,45	-14,12	0,23	-0,67	-0,44
Частка запасів в оборотних активах, %		8,90	7,56	7,39	-1,35	-0,17	-1,52

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Частка власних оборотних коштів у покритті запасів, %	50%	-17907,69	-17338,46	-17961,54	569,23	-623,08	-53,85
Коефіцієнт покриття запасів власним оборотним капіталом	0,5—0,8 зростання	-179,08	-173,38	-179,62	5,69	-6,23	-0,54
Коефіцієнт покриття запасів робочим капіталом	<1	-145,38	-139,69	-145,92	5,69	-6,23	-0,54

Примітка: розраховано авторами на основі даних балансу підприємства.

Такі показники, як маневреність власних оборотних засобів і частка власних оборотних коштів в їх загальній сумі, мають від’ємне значення через відсутність у підприємства позитивного значення показника власного оборотного капіталу.

За даними табл. 1 видно, що жоден із показників платоспроможності та ліквідності підприємства не відповідає оптимальному значенню, всі вони значно нижчі від нормативу. Причому слід наголосити, що більшість показників мають незначну динаміку до зростання, що є позитивним явищем. Але оскільки показники ліквідності і платоспроможності протягом досліджуваного періоду мають значення, значно нижчі за оптимальні, то підприємству потрібно повністю реформувати фінансову політику.

Загалом, у підприємства відсутні наявні грошові активи на покриття як негайних зобов’язань, так і короткострокових зобов’язань у відповідні строки. Отже, результати аналізу підтверджують неплатоспроможність і неліквідність підприємства протягом 2015—2017 рр.

На наступному етапі досліджено ліквідність балансу, тобто проведено зіставлення статей активу балансу, попередньо згрупованих і розташованих у порядку зменшення ліквідності, зі статтями пасиву, що згруповані за строками та розміщені в порядку збільшення термінів погашення зобов’язань підприємства (табл. 2) [9, с. 203].

Таблиця 2. Зіставлення активів і пасивів підприємства

Показник	Характеристика	Алгоритм розрахунку за даними ф. 1 «Баланс»
1	2	3
Високоліквідні активи (A1)	Грошові кошти і поточні фінансові інвестиції	p.1160 + p.1165
Активи, що швидко реалізуються (A2)	Уся дебіторська заборгованість, що повинна бути погашена в строк	p.1125 + p.1130 + p.1135 + p.1140 + p.1145 + p.1155

Продовження таблиці 2

1	2	3
Активи, які реалізуються повільно (А3)	Запаси, поточні біологічні активи, інші оборотні активи, витрати майбутніх періодів	p.1100 + p.1110 + p.1170 + p.1190
Активи, що важко реалізуються (А4)	Необоротні активи та необоротні активи, утримувані для продажу та групи вибуття	p.1095 + p.1200
Найтерміновіші зобов'язання (П1)	Поточна кредиторська заборгованість	p.1610 + p.1615 + p.1620 + p.1625 + p.1630 + p.1635 + p.1640 + p.1645 + p.1650 + p.1660 + p.1670 + p.1690
Короткострокові зобов'язання (П2)	Короткострокові кредити банків	p.1600 + p.1605
Довгострокові зобов'язання (П3)	Довгострокові зобов'язання і забезпечення	p.1595
Постійні пасиви (П4)	Зобов'язання перед власниками, формування власного капіталу та зобов'язання, пов'язані з необоротними активами, утримуваними для продажу та групами вибуття	p.1495 + p.1700
Умови абсолютної ліквідності балансу	$A1 \geq P1; A2 \geq P2; A3 \geq P3; A4 \leq P4$	

Примітка: узагальнено авторами на основі джерел [1, с. 132], [2, с. 89—90].

Тож показники ліквідності відображають рухливість активів, стійкість пасивів, відповідність вироблюваних активних і пасивних операцій, можливості підприємства в погашенні узятих зобов'язань [2, с. 85]. Згрупуємо показники ліквідності та платоспроможності кондитерської фабрики «А.В.К.» (м. Мукачево) на основі даних з форми фінансової звітності № 1 «Баланс» за період 2015—2017 рр. (табл. 3).

Таблиця 3. Аналіз ліквідності балансу підприємства у 2015—2017 рр., тис. грн

Актив	2015	2016	2017	Пасив	2015	2016	2017	Платіжний надлишок або нестача		
								2015	2016	2017
(А1)	6	0	2	(П1)	2036	1988	2073	-2030	-1988	-2071
(А2)	127	159	161	(П2)	0	0	0	127	159	161
(А3)	13	13	13	(П3)	438	438	438	-425	-425	-425
(А4)	16868	16581	16355	(П4)	14540	14327	14020	2328	2254	2335
Баланс	17014	16753	16531	Баланс	17014	16753	16531	—	—	—

Примітка: розраховано авторами на основі даних балансу підприємства.

Для з'ясування рівня ліквідності балансу підприємства порівняно результати підсумовування кожної із груп активів і пасивів балансу дослідженого підприємства. Зазначимо, що баланс підприємства визнається абсолютно ліквідним при такій умові: $A1 \geq P1; A2 \geq P2; A3 \geq P3; A4 \leq P4$.

Табл. 3 містить дані про платіжний надлишок або нестачу активів. Бачимо, що перша умова не виконується в жоден із досліджуваних років, оскільки П1 значно перевищує А1 протягом 2015—2017 рр. Варто зазначити, що виконується друга умова. Цьому сприяла повна відсутність короткострокових кредитів підприєм-

ства. Також не виконується третя умова, оскільки довготермінові активи перевищують активи, що повільно реалізуються, на 425 тис. грн протягом усього досліджуваного періоду. Четверта умова так само не виконується, що свідчить про нестачу постійних пасивів, тобто власного капіталу, на 2335 тис. грн. на момент останнього досліджуваного року.

Стан ліквідності підприємства не можна вважати добрим, оскільки лише в одному випадку зберігається співвідношення: обсяг швидко реалізованих активів перевищує розмір його відсутніх короткострокових зобов'язань. У такому випадку підприємство начебто в найближчій перспективі залишиться платоспроможним, однак відсутність короткострокових зобов'язань не дає змоги зробити такий висновок. Але розмір найбільш ліквідних активів є меншим за суму найбільш термінових зобов'язань, наслідком чого є невчасне погашення термінової заборгованості. Довгострокові зобов'язання перевищують повільно реалізовані активи, що не дає надію на забезпечення платоспроможності підприємства в середньостроковій перспективі. Для покращення стану товариства необхідно збільшувати вартість найбільш ліквідних активів і зменшувати зобов'язання.

Вважається, що ступінь платоспроможності підприємства виражається через ліквідність його балансу. Необхідність підтримки відповідного рівня ліквідності пояснюється потребою створення позитивного інвестиційного середовища конкретного підприємства, адже за допомогою результатів аналізу ліквідності підприємств можна оцінити стан фінансового управління на підприємстві та рівень його фінансової безпеки [3, с. 43]. Найбільш практичною формою здійснення аналізу ризику виникнення незбалансованої ліквідності підприємства є складання матриці її збалансування.

Головним елементом матриці є розмір відповідної групи активів (A1—A4), спрямованої на покриття відповідної суми групи пасивів (П1—П4). У шапці таблиці по горизонталі знаходяться групи пасивів, які необхідно покрити відповідними групами активів. У матриці ліквідність активів зростає знизу догори, а терміновість пасивів зростає зліва направо. Отже, активи з найбільшим рівнем ліквідності скеровуються на покриття найбільш строкових зобов'язань. Якщо спостерігається надлишок фінансових ресурсів, то він направляється на покриття пасивів з більшим строком погашення, дефіцит активів для покриття належної групи пасивів компенсується за рахунок використання групи активів з меншим рівнем ліквідності.

У табл. 4 наведено матриці збалансування ліквідності досліджуваного підприємства у 2015—2017 рр.

Таблиця 4. Зведені матриці збалансування ліквідності досліджуваного підприємства за 2015—2017 рр. (тис. грн)

Усього по групі			Групи пасивів, 2015				Разом пасивів
			П1	П2	П3	П4	
			2036	0	438	14540	17014
1	2	3	4	5	6	7	8
Групи активів, 2015	A1	6	6				
	A2	127	127				
	A3	13	13				
	A4	16868	1890	0	438	14540	
Разом активів		17014					17014

Продовження таблиці 4

Усього по групі			Групи пасивів, 2016				Разом пасивів
			П1	П2	П3	П4	
			1988	0	438	14327	16753
9	10	11	12	13	14	15	16
Групи активів, 2016	A1	0	0				
	A2	159	159				
	A3	13	13				
	A4	16581	1816	0	438	14327	
Разом активів		16753					16753
Усього по групі			Групи пасивів, 2017				Разом пасивів
			П1	П2	П3	П4	
			2073	0	438	14020	16531
17	18	19	20	21	22	23	24
Групи активів, 2017	A1	2	2				
	A2	161	161				
	A3	13	13				
	A4	16355	1897	0	438	14020	
Разом активів		16531					16531

Примітка: розраховано авторами на основі статей балансу підприємства.

Дані таблиці матриці збалансування ліквідності об'єкта дослідження за 2015—2017 рр. свідчать про те, що існують наявні розриви ліквідності. В кожен із досліджуваних років пасиви з певним строком погашення покривалися активами з довгими термінами реалізації, тобто ці суми розташовані знизу від центральної діагоналі. Такі розриви свідчать про незбалансовану ліквідність, зокрема про нестачу ліквідних ресурсів і виникнення стану неплатоспроможності на досліджуваному підприємстві. Варто відмітити, що на підприємстві відсутня надлишкова ліквідність.

Зважаючи на результати дослідження, ПАТ «Кондитерської фабрики «А.В.К» м. Мукачєво», варто відмітити, що при аналізі ліквідності (на прикладі коефіцієнтного аналізу, аналізу балансу та матриці збалансування) було помітно, що платоспроможність на підприємстві не збережена та й узагалі досліджуваному підприємству притаманна недостатня ліквідність. Спостерігалась певна динаміка зростання коефіцієнтних показників, але значення наскільки відрізняються від нормативу, що ці зміни ніяк не позначаються на платоспроможності підприємства, вона й надалі відсутня.

У свою чергу, результатами низького ступеня ліквідності та платоспроможності ПАТ «Кондитерської фабрики «А.В.К» м. Мукачєво» є: недостатність абсолютно ліквідних коштів, неліквідність (недостатність) таких статей балансу, як запаси і готова продукція, наслідком чого є зменшення розміру оборотних активів, значне перевищення рівня дебіторської заборгованості над кредиторською. Як наслідок, неспроможність суб'єкта підприємництва сплачувати по своїх поточних зобов'язаннях.

Висновки

Отже, аналіз категорій ліквідності та платоспроможності «А.В.К» різними методами підтвердив, що вони повторюють і доповнюють одна одну. Використання досліджених показників при аналізі ліквідності підприємства створює систему критеріїв для прийняття обґрунтованих і якісних управлінських рішень у

сфері оперативної та перспективної фінансово-господарської діяльності дослідженого підприємства.

Основними факторами, що можуть впливати на підвищення ліквідності та платоспроможності суб'єкта підприємництва є: позитивна кредитна історія підприємства, яка надає можливість отримати довгостроковий кредит; можливість ефективного інвестування вільного капіталу; наявність прибуткової діяльності; достатній рівень амортизаційних відрахувань як внутрішнього джерела фінансування підприємства; скорочення дебіторської заборгованості підприємства та прискорення її оборотності; продаж неефективно використовуваних необоротних активів.

Отже, для вдосконалення управління платоспроможністю та ліквідністю пропонуємо такі заходи:

- визначення пріоритету ліквідності — у разі обрання варіантів інвестування вільних фінансових ресурсів підприємству потрібно обирати найбільш ліквідні напрямки;

- постійний аналіз стану ліквідності, що дасть змогу уникнути надлишку потреб підприємства в ліквідних активах, так і їх дефіциту;

- готовність до надзвичайної ситуація щодо фінансового стану, тобто моделювання дій фінансово-господарського характеру в разі виникнення непередбачуваних або кризових ситуацій;

- ефективна робота із партнерами та контрагентами, тобто підтримка гнучких взаємовідносин з клієнтами та постачальниками сприяє, у разі потреби, терміновій мобілізації потрібних фінансових ресурси;

- пошук внутрішніх джерел покращення стану ліквідності та платоспроможності об'єкта дослідження, економія наявних фінансових ресурсів;

- здійснення постійного моніторингу основних напрямів діяльності підприємства та розробка заходів щодо підвищення якості управління неефективними видами діяльності;

- оптимізація структури капіталу та контроль за співвідношенням засобів, що знаходяться у власності підприємства та його поточними і перспективними зобов'язаннями.

Перспективи подальших досліджень полягають у з'ясуванні чинників, що здійснюють негативний вплив на ліквідність і платоспроможність підприємств кондитерської промисловості та розробці заходів щодо нейтралізації їх впливу.

Література

1. Правдюк М. В. Обліково-аналітичне забезпечення управління ліквідністю аграрних підприємств. *Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки та практики*. 2019. № 2. С. 124—139.

2. Чайка Т. Ю., Александрова В. О., Бабіч В. В. Платоспроможність, ліквідність і фінансова стійкість: теоретичні і методичні аспекти аналізу. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ» (економічні науки): зб. наук. пр.* Харків: НТУ «ХПІ». 2018. № 37(1313). С. 82—89.

3. Мулик Я. І. Ліквідність підприємств як елемент управління фінансовою безпекою: методичне та інформаційне забезпечення. *Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки та практики*. 2017. № 4. С. 42—51.

4. Ooi Ee Hann (2019): Corporate Governance and Liquidity Risk of ZTE Corporation. URL: <https://mpr.ub.uni-muenchen.de/id/eprint/97216>.

5. Silviana W., Waskito S. Impact of Liquidity, Solvency, Profitability, Company Growth, and Size of The Company Against The Dividend Policy. 1st Annual Conference On Ihtifaz: Islamic Economics, Finance and Banking (ACI-IJIEFB). 2020. P. 367—379.

6. Mohamad Hakim Z., Naelufar Y. Profitability, capital structure, liquidity and company size of profit quality. *Jurnal Akademi Akuntansi*. 2020. Vol. 3, № 1. P. 12—35. URL: <https://doi.org/10.22219/jaa.v3i1.10348>.

7. Наказ Міністерства економіки України «Про затвердження Методичних рекомендацій щодо виявлення ознак неплатоспроможності підприємства та ознак дій з приховування банкрутства, фіктивного банкрутства чи доведення до банкрутства» від 19.01.2006 р. № 14. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/v0014665-06>.

8. Мельник Т. А., Лобач К. В. Методи оцінки ліквідності. *Наукові записки*. Кіровоград: КНТУ, 2016. Вип. 20. С. 79—93.

9. Мних Є. В. Фінансовий аналіз: підручник. Київ: КНТУ, 2014. 536 с.

PROSPECTS OF USING MODERN DOMESTIC SPRAY DRYERS FOR PROCESSING OF AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX PRODUCTS

A. Dolinskyi, K. Maletska, L. Avdieieva, A. Hartvih, A. Makarenko

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine

Key words:

*Spray drying installations
Dispersed drying process
Design solutions
Installation diagrams
Energy efficiency*

Article history:

Received 07.07.2020
Received in revised form
22.07.2020
Accepted 07.08.2020

Corresponding author:

A. Dolinskyi

E-mail:

tbds_itff@ukr.net

ABSTRACT

One of the priority directions for the growth of the Ukrainian economy is the development of the agricultural sector and such closely related industries as food processing, microbiological, pharmaceutical, and a certain part of the chemical industries. Due to this, the Institute of Engineering Thermophysics (IET) of NAS of Ukraine has developed design documentation for several modifications of spray drying installations, the working chamber of which has a cylindrical diameter of 5 m (like most dryers in the dairy industry), but differs from the existing ones in some structural solutions of a number of critical components, such as a coolant supply system (heated air) and gas distribution, the cooling system of the ceiling of the chamber, the powder discharge system, the cooling system in the lower conical part of the chamber, a pneumatic cooling system and others.

IET also has designs for low-capacity spray dryers (less than 100 kg of evaporated moisture per hour) of the following sizes — the diameter of the chambers is 3.2; 2.5; 1.5 meters, which are designed to obtain a powder form of various products with high biological activity, enzyme, bacterial and herbal remedies of therapeutic and prophylactic action.

The complex of research work carried out at IET in the direction of increasing heat and technology indicators allows us to offer new technologies for obtaining the powder from general-purpose products. The developed technologies are based on significant fundamental studies of the preliminary preparation of initial products on DPEI devices, which make it possible to solve a number of problems in stabilizing the rheological characteristics of dried liquid products and to provide the necessary structural and mechanical properties of the obtained powder product. Regulatory and technical documentation for production in Ukraine has been developed and approved for new technologies. A number of new heating technologies have been tested under industrial conditions.

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ВІТЧИЗНЯНИХ РОЗПИЛЮВАЛЬНИХ СУШАРОК ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ ПРОДУКЦІЇ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ

А. А. Долінський, К. Д. Малецька, Л. Ю. Авдєєва,

А. П. Гартвіг, А. А. Макаренко

Інститут технічної теплофізики НАН України

Одним із пріоритетних напрямків зростання економіки України є розвиток аграрного сектору і тісно пов'язаних з ним переробних підприємств харчової, мікробіологічної, фармацевтичної і певної частини хімічних галузей промисловості. Зважаючи на це, в ІТТФ НАН України розроблено конструкторську документацію на кілька модифікацій розпилювальних сушильних установок, робоча камера яких має діаметр циліндричної частини 5 м (як більшість сушарок у молочної галузі), але порівняно з існуючими відрізняється деякими конструктивними рішеннями ряду найважливіших вузлів, таких як система підведення теплоносія (нагрітого повітря) і газорозподілу, система охолодження стелі камери, система вивантаження порошку, система охолодження в нижній конусній частині камери, система пневмоохолодження тощо.

Крім того, ІТТФ НАН України має великий обсяг розробок щодо розпилювальних сушарок малої продуктивності (менше 100 кг випареної вологи на годину) таких типорозмірів — діаметр камер становить 3,2; 2,5; 1,5 метра. Сушарки призначені для отримання порошкової форми різних продуктів з високою біологічною активністю, ферментних, бактеріальних і фітопрепаратів лікувальної та профілактичної дії.

Визначені шляхи оптимізації теплотехнологічних показників дають змогу запропонувати нові технології отримання порошкової форми продуктів широкого призначення. Розроблені технології базуються на значних фундаментальних дослідженнях процесу попередньої підготовки вихідних продуктів на апаратах ДІВЕ, які вирішують ряд завдань щодо стабілізації реологічних характеристик висушуваних рідких продуктів і забезпечують необхідні структурно механічні властивості отриманого порошкового продукту. На нові технології розроблена і затверджена нормативно технічна документація для виробництва в Україні. Ряд нових теплотехнологій апробований у промислових умовах.

Ключові слова: *розпилювальні сушильні установки, процес сушіння в диспергованому стані, конструктивні рішення, схеми установок, енергоефективність.*

Постановка проблеми. Одним із пріоритетних напрямків розвитку економіки України нині є аграрний сектор і тісно пов'язаний з ним комплекс переробних підприємств з виробництва харчових продуктів у сухій формі. На сучасному етапі розвиток технологій виробництва сухих продуктів направлений на зниження енерговитрат сушильних установок і кожного задіяного технологічного процесу. Велике значення надається тривалості процесу, використанню

раціональних температурних режимів для максимального збереження корисних біологічно активних речовин [1].

З метою підвищення обсягів виробництва існуючих заводів, що випускають продукцію в порошковій формі, яка є найбільш технологічною при використанні для цілого ряду інших виробництв, зокрема й продукції стратегічного призначення, потрібні розпилювальні сушарки різної продуктивності. Однак на багатьох заводах таке технологічне обладнання відноситься до фізично застарілого і вимагає заміни новим, таким, що відповідає сучасним вимогам щодо енергоефективності, екологічних завдань, а також забезпечує більш високі якісні показники кінцевої порошкової продукції [2].

Особливо актуальна ця проблема для молочної галузі, адже існує велика кількість заводів, які виробляють в порошковій формі різні молочні продукти (сухе знежирене молоко, сухе незбиране молоко, суху сироватку). Їхня виробнича база потребує заміни застарілого обладнання, зокрема розпилювальних сушарок як для зростання обсягів виробництва, так і для освоєння нового асортименту, що являє собою нові функціональні продукти на основі сучасних розробок лікувального й оздоровчого призначення з використанням молочної сировини.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Переважно на молокопереробних підприємствах встановлені розпилювальні сушильні установки продуктивністю 500 (діаметр циліндричної частини камери — 5 м) або 1000 (той же параметр — 8 м) кг випареної вологи в годину різних виробників [3—7], які необхідно модернізувати або замінити на нову техніку. В Інституті технічної теплофізики НАН України протягом багатьох років проводились науководослідні роботи, в результаті яких були виконані конструкторські розробки і дослідно-промислові випробування нових зразків розпилювальних тепло- і масообмінних установок. На машинобудівному заводі (м. Коростень, Україна) було виготовлено понад півтори сотні таких агрегатів як для медичної промисловості, так і для харчових підприємств, які були впроваджені на багатьох заводах Радянського Союзу, а також за кордоном. Дослідно-промислове відпрацювання режимних параметрів на цих підприємствах дали змогу отримати продукцію високої якості й удосконалити конструкції важливих відповідальних вузлів запропонованих агрегатів. Окремим напрямком досліджень було створення випарювально-сушильних агрегатів для виробництва медичних препаратів, передусім для отримання порошкових форм різних модифікацій антибіотиків. Цей великий комплекс робіт проводився під керівництвом академіків НАН України О. О. Кремньова і А. А. Долінського [8; 9]. Тож в Інституті технічної теплофізики НАН України накопичено велику базу конструкторських розробок, які можуть бути використані для створення нових сучасних розпилювальних сушарок для молочної галузі.

Мета статті: проаналізувати чинники, які обумовлюють проблеми у напрямку модернізації ряду переробних підприємств і запропонувати розробки розпилювальної сушильної техніки, що відповідає сучасним показникам енергозбереження, екологічності та високої якості одержаних порошкових форм продукції, на основі розробок Інституту технічної теплофізики НАН України (ІТТФ НАН України).

Викладення основних результатів дослідження. За основу пропонується взяти розробки ІТТФ НАН України розпилювальних установок середньої тоннажності з діаметром циліндричної частини камери 5 м (рис. 1, 2).

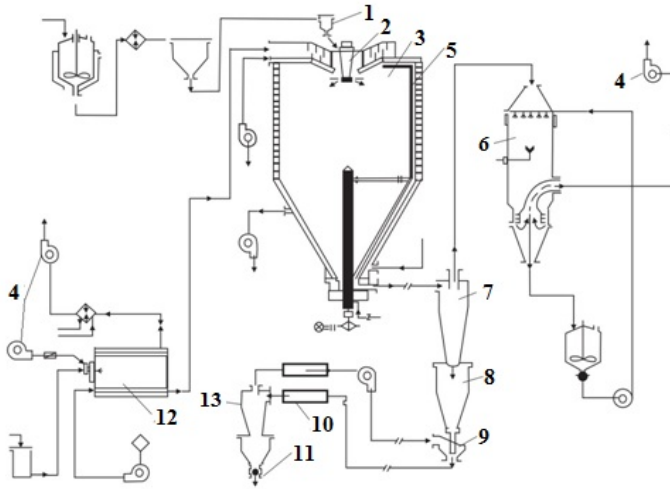


Рис. 1. Схема розпилювальної сушильної установки СРЦ-5/132:

- 1 — смінь для розчину; 2 — відцентровий дисковий розпилювач; 3 — сушильна камера; 4 — вентилятор; 5 — очищувач стінок камери; 6 — сркубер; 7 — циклон; 8 — бункер; 9 — пневмозасув; 10 — охолоджувач; 11 — шлюзовий засув; 12 — теплогенератор; 13 — циклон системи пневмоохолодження

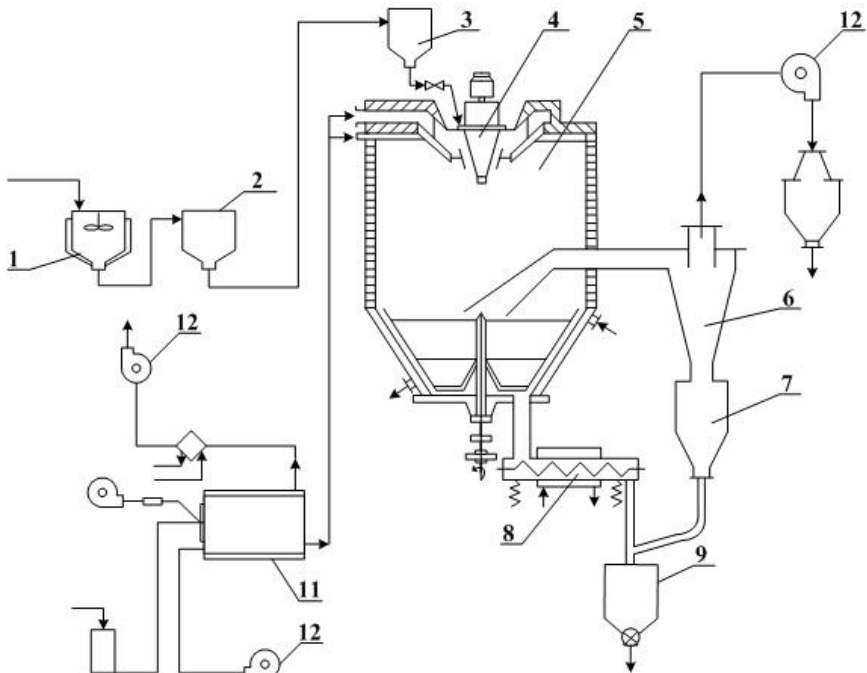


Рис. 2. Схема розпилювальної сушильної установки СРЦ-5/120:

- 1, 2, 3 — смінь для розчину; 4 — відцентровий дисковий розпилювач; 5 — сушильна камера; 6 — циклон; 7 — бункер; 8 — віброохолоджувач; 9 — бункер-накоплювач; 10 — «мокрый» пиловловлювач; 11 — теплогенератор; 12 — вентилятор

Геометрія таких камер є найбільш типовою для подібних сушильних установок — циліндрично-конічної форми або циліндрично-конічної з усіченим конусом у різних виробництвах як в Україні, так і за кордоном. Як розпилювальні пристрої у пропонуваній установках переважно використовуються відцентрові високооборотні дискові розпилювачі, які найбільш стабільні в роботі і забезпечують найкращі результати за габаритами факела розпилу і дисперсійним характеристикам крапель у факелі.

В ІТТФ НАН України була розроблена конструкторська документація на кілька модифікацій розпилювальних сушильних установок, робоча камера яких має діаметр 5 м, але порівняно з існуючими такого ж типорозміру, вони відрізняються деякими конструктивними рішеннями ряду важливих вузлів, таких як: система підведення теплоносія до горловини у верхній частині камери, система охолодження стелі, система вивантаження порошку в нижній частині камери, система охолодження конусної частини камери, можливість установки пристрою для очищення стінок камери, система пневмоохолодження порошку після виходу з камери. Пропоновані розробки сушильних установок укомплектовані автономними повітряними нагрівачами (теплогенераторами), також розробленими в ІТТФ НАН України.

Запропоновані конструктивні удосконалення були зроблені на підставі великого комплексу теплофізичних досліджень кінетики процесу зневоднення та структуроутворення на системі «крапля — парогазова високотемпературна середовище» і комплексу інших теплотехнологічних досліджень для продуктів з різними фізико-хімічними і структурно-механічними властивостями. На ефективність процесу зневоднення таких продуктів у диспергованому стані в потоці нагрітого повітря, який здійснюється в камерах розпилювальних сушарок, великий вплив спричиняють різні фактори, такі як: хімічний склад рідкого продукту, його фізико-хімічні властивості й особливості процесів тепломасопереносу в окремій краплі (частинці), тобто кінетику процесу при певних температурно-вологісних параметрах теплоносія (повітря) в різних зонах розпилювальної камери. Теплотехнологічні аспекти процесів отримання порошкових продуктів високої якості визначаються обраними параметрами теплоносія і відповідною підготовкою рідкого продукту перед розпиленням у камері, а конструктивні рішення повинні забезпечити активну взаємодію потоку теплоносія і факела розпорошеного продукту. Дослідження, проведені в ІТТФ НАН України з різними рідкими продуктами з метою одержання їхніх порошкових форм, стали важливою науковою базою для розробок нових конструкторських рішень ряду вузлів розпилювальної камери, а також іншого устаткування в принципових схемах комплексних розпилювальних установок [11; 12].

На сьогодні питання енергозбереження при роботі таких сушильних установок набувають особливого значення і, як показує аналіз роботи розпилювальної сушильної техніки, завдання енергозбереження необхідно розглядати, враховуючи безліч факторів. Аналіз структурних схем комплектної розпилювальної сушильної установки показав взаємозалежність різних систем, що забезпечують стабільність і ефективність роботи установки в цілому. Можливість урахування багатьох чинників окремих систем дає змогу комплексно вирішувати проблему енергозбереження для комплектної установки. Так, при висушуванні молочних

продуктів останніми десятиріччями провідні фірми-виробники, такі як «Nigo Atomaset» (Данія), «Ангідро» (Данія), «Воздухотехника» (Словаччина), «Нема» (Німеччина), об'єднання «Пішемаш» (Україна) запропонували зміни, спрямовані на зменшення енерговитратних показників і на підвищення якості кінцевого продукту. Модернізація сушарок Словацького виробництва РС-100 дала змогу в останніх модифікаціях, якщо порівняти з базовою сушаркою, досягти питомих енерговитратних показників 1,7—1,9 кг пари на 1 кг кінцевого продукту проти 2,6 кг у базовій комплектації [8; 9; 10]. Але такі зміни в конструкціях самої камери, а також апаратів типу інстантайзерів тощо, значно ускладнюють технологічну схему і стабільність роботи всього комплексу обладнання і не можуть не впливати на якісні показники кінцевого продукту. Крім того, ці зміни призводять до значного підвищення вартості комплексного обладнання, а значний об'єм металоконструкцій ускладнює його експлуатаційне обслуговування.

Одним з важливих завдань є розробка такої системи пиловловлювання, яка може забезпечити мінімізацію виводу частинок високої дисперсності і збільшення виходу, що значною мірою призведе до економії тепловитрат. Ще більш вагомий внесок для підвищення теплоефективності процесу розпилювального зневоднення може дати раціональне вирішення використання теплоти повітря, що виходить з циклону. Проведений аналіз показує, що при роботі розпилювальної сушарки продуктивністю 500 кг/год по готовому продукту економія може скласти понад 1000 т умовного палива на рік. Зазначені шляхи енергозбереження одночасно поліпшать екологічні умови в місцях розташування молокопереробних підприємств. В ІТТФ НАН України також є оригінальні розробки тепломасообмінного обладнання, яке пройшло дослідно-промислову апробацію і в ряді випадків може бути використано як «мокрі» пиловловлювачі, які дають змогу одночасно вирішити два завдання: 1 — ефективно вловлювання дрібнодисперсних фракцій одержуваного порошкового продукту і 2 — використання теплоти повітря, що виходить із сушарки для попереднього упарювання вихідного продукту. Крім того, існують розробки ефективних теплообмінників, на основі яких можуть бути запропоновані раціональні схеми для попереднього підігрівання повітря перед основним теплогенератором, в якому він нагрівається до необхідної температури і потім надходить у розпилювальну камеру.

Значне зниження тепловитрат може бути досягнуто і за рахунок раціональної організації виробничого процесу. Так, замість однієї великої установки продуктивністю 1000 кг випареної вологи в годину доцільним може бути організація виробництва отримання порошкової форми різної молочної продукції при монтажі двох або трьох розпилювальних сушарок одного типорозміру (наприклад, з камерою діаметром 5 м) або різних типорозмірів залежно від асортименту продукції. Це забезпечить реалізацію більш гнучкої схеми переробки одночасно: упареного знежиреного молока, упареного цільного молока, сироватки або різних інших продуктів на основі молочної сировини, наприклад такі, як сухі суміші для морозива, десертні суміші і суміші для йогуртів і напоїв. З огляду на залежність надходження обсягів молока від сезонів року, така схема суттєво підвищила б енергетичну ефективність виробництва за рахунок більш повного використання установки і скорочення технологічних зупинок роботи обладнання

при переході на подачу іншого продукту в розпилювальну камеру сушарки. Особливо це важливо в осінньо-зимовий період у зв'язку зі зменшенням поставок вихідного молока.

Розроблені в ІТТФ НАН України розпилювальні сушарки з діаметром циліндричної частини камери 5 м, що відносяться до установок середньої тоннажності, можуть бути також використані в інших виробництвах як у харчовій галузі (крохмалопереробні підприємства, фабрики для виробництва сухих порошкових форм різних мікробіологічних препаратів), так і в ряді хімічних виробництв.

Створення вітчизняного сучасного розпилювального сушильного обладнання в Україні є важливим завданням і цілком може бути реалізоване на наших вітчизняних машинобудівних заводах: вже вище згадані Коростенський завод хімічного машинобудування (Житомирська область), Калинівський завод харчового машинобудування (Вінницька область), з якими ми співпрацювали, та інших. При цьому слід зазначити, що Україна має металургійні заводи і виробництво нової сушильної техніки може бути забезпечене поставками необхідної металопродукції вітчизняного виробництва.

Що стосується соціальної значущості, то здійснення цього проекту вирішить ще одне важливе завдання — створення безлічі нових робочих місць у різних виробництвах, а також забезпечить новими інженерно-технічними високопрофесійними кадрами для роботи в машинобудівній і в цілому ряді технологічних виробництв.

ІТТФ НАН України також володіє конструкторськими розробками розпилювальних сушарок — так званих установок малої тоннажності з продуктивністю менше 100 кг випареної вологи в годину. Робоча камера таких сушарок має розмір циліндричної частини відповідно для трьох типорозмірів: 3,2 м; 2,5 м; 1,5 м (рис. 3, 4, 5).

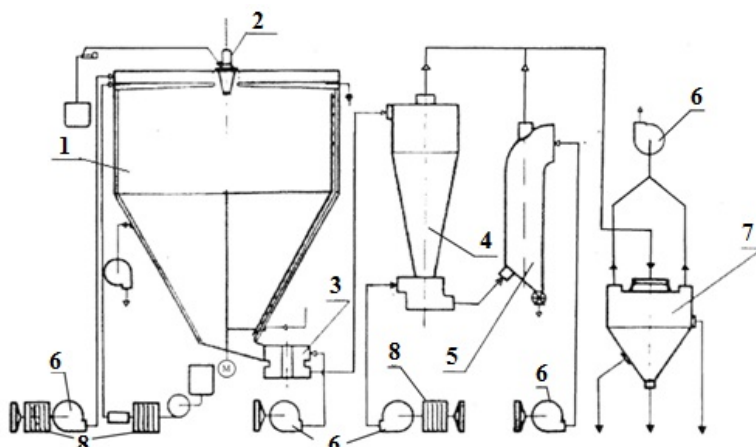


Рис. 3. Схема розпилювальної сушильної установки СРЦ-3,2-14:

1 — сушильна камера; 2 — відцентровий дисковий розпилювач; 3 — змішувач; 4 — циклон; 5 — апарат ВЗП-300; 6 — вентилятор; 7 — «мокрый» фільтр; 8 — нагрівач повітря

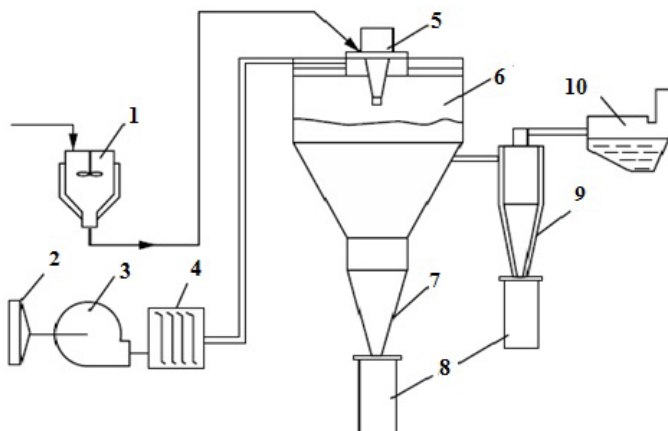


Рис. 4. Схема розпилювальної сушильної установки СРЦ-2,5/7,5:

1 — ємність; 2 — фільтр; 3 — вентилятор; 4 — електрокалорифер; 5 — відцентровий дисковий розпилювач; 6 — сушильна камера; 7 — вбудований циклон; 8 — ємність для порошку; 9 — циклон; 10 — «мокрый» фільтр

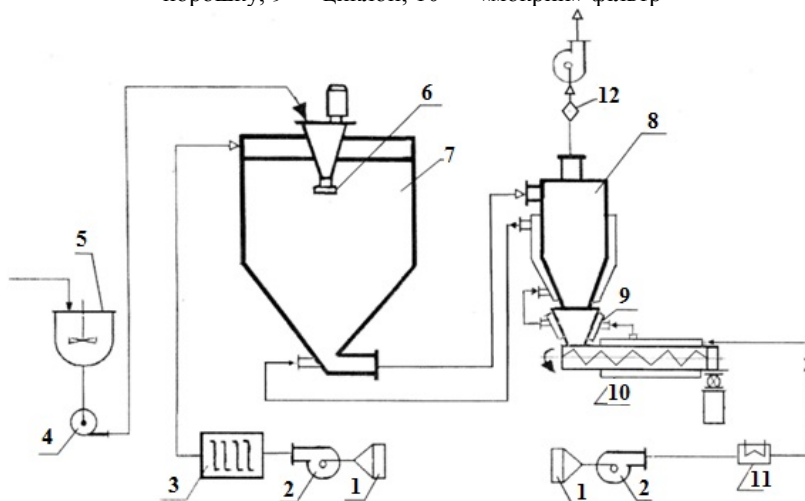


Рис. 5. Схема розпилювальної сушильної установки СУМ-1,5-12,9:

1 — фільтр; 2 — вентилятор; 3 — електрокалорифер; 4 — насос; 5 — ємність; 6 — відцентровий дисковий розпилювач; 7 — сушильна камера; 8 — циклон з термостатуваними стінками; 9 — бункер; 10 — охолоджувач шнековий; 11 — система підготовки повітря для охолодження; 12 — бактеріальний фільтр

Ці установки (рис. 3, 4, 5) призначені для отримання порошкових форм різних продуктів з високою біологічною активністю, ферментних і бактеріальних препаратів, фітопрепаратів лікувальної та профілактичної дії. Сушильні установки РЦ-1,5/2,5 були виготовлені на Калинівському машинобудівному заводі і поставлені на підприємства в містах України: Кременчук і Тернопіль, в Грузію (місто Батумі). Сушарка РЦ-2,5/7,5 була виготовлена на Півському машинобудівному заводі (Київська область) і поставлена на завод в місті Одеса. У конструкторській документації на зазначені установки відображені нові рішення на

ряд найважливіших вузлів, що дають змогу проводити процес розпилювального зневоднення для сушіння складних за реологічними і структурними властивостями рідинних систем.

Висновки

Комплекс науково-дослідних робіт, що проводяться в ІТТФ НАН України протягом багатьох років у напрямку оптимізації теплотехнологічних аспектів, дав змогу запропонувати нові технології отримання важливих продуктів оздоровчого та лікувального призначення і розробити нормативно-технічну документацію на їх виробництво в Україні з використанням наявної бази сировинних ресурсів. Показаний великий обсяг різнопланових розробок, який за досить короткий час надасть можливість вирішити важливі завдання з комплексної переробки сировинних ресурсів агропромислових підприємств і отримати цінні продукти для населення нашої країни, а також країн ближнього і далекого зарубіжжя. Розроблені теплотехнології базуються на значних фундаментальних дослідженнях з попередньої підготовки вихідного продукту з використанням апаратів ДІВЕ, які вирішують ряд завдань щодо стабілізації реологічних характеристик рідинних продуктів при сушінні і забезпечують необхідні структурно-механічні властивості одержуваного порошкового продукту. Нові теплотехнології апробовані у виробничих умовах. Випуск такої продукції дасть змогу вирішити ряд соціальних проблем щодо оздоровлення людей різних вікових категорій.

Література

1. Wisniewski R. Spray Drying Technology Review. 45th International Conference on Environmental Systems 12—16 July 2015, Bellevue, Washington. <http://hdl.handle.net/2346/64598>.
2. Емельянов А. Б., Мягков А. А., Кононов Н. Р. Повышение энергоэффективности комбинированной распылительной сушильной установки. *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания*. 2017. Т. 5. С. 100—106.
3. Лыков М. В., Леончик Б. И. Распылительные сушилки. М.: Машиностроение, 1966. 332 с.
4. Липатов Н. Н. Харитонов В. Д. Сухое молоко. М.: Легкая и пищ. пром-сть, 1981. 264 с.
5. Masters K. Spray Drying. Handbook, 4th edition. London, New York: John Willy and Sons, 1985. 696 p.
6. Гришин М. А., Атаназевич В. И., Семенов Ю. Г. Установки для сушки пищевых продуктов. М.: Агропромиздат, 1989. 215 с.
7. Долинский А. А., Иваницкий Г. К. Оптимизация процессов распылительной сушки. Киев: Наук. думка, 1984. 240 с.
8. Долінський А. А., Шморгун В. В., Шморгун А. В. Підвищення ефективності роботи розпилювальних сушарок. Аспекти енергозаощадження. Київ: ВД «Академперіодика», 2006. 141 с.
9. Bhandari B., Bansal N., Zhang M., Pierre Schuck P. Handbook of Food Powders. Processes and Properties, Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, 2013. 688 p.
10. Сидоров Ю. І. Розпилювальні сушарки в біотехнології. *Біотехнологія*, Т. 5, № 4, 2012. С. 46—54.
11. Долинский А. А., Малецкая К. Д. Распылительная сушка: В 2-х т. Т. 1. Теплофизические основы. Методы интенсификации и энергосбережения. / А. А. Долинский, К. Д. Малецкая. Киев: Академперіодика, 2011. 376 с.
12. Долинский А. А., Малецкая К. Д. Распылительная сушка. В 2-х т. Т. 2. Тепло-технологии и оборудование для получения порошковых материалов. К.: Академперіодика, 2015. 390 с.

METHOD FOR DETERMINING THE RELIABILITY OF THE PROBABILISTIC-STATISTICAL MODEL FOR CALCULATING THE OZONATION PROCESS

V. Myronchuk, Yu. Zmievsii, V. Zakharov, L. Kornienko

National University of Food Technologies

Key words:

Ozone

Ozone-gas composition

Precision

Recal

F-score

Article history:

Received 15.07.2020

Received in revised form

30.07.2020

Accepted 14.08.2020

Corresponding author:

V. Zakharov

E-mail:

saharoff.911@gmail.com

ABSTRACT

The paper presents a method for determining the reliability of the probability-statistical model for calculating the ozonation process.

Due to the statistical analysis of frequency ranges and probability distributions of different parameters by classes, it was found that the temperature has a greater effect on the ozonation process than the concentration of ozone in the ozone-gas mixture. The temperature value makes it possible to determine the range of ozone solubility, that is to calculate the efficiency of the ozonation process.

The result of further work was a method for determining the reliability of the probability-statistical model for calculating the ozonation process. Metrics such as Precision and Recall were used to analyze the data processing algorithms. Subsequently, they were used to calculate another metric — F-score. This metric takes into account both completeness and accuracy and allowed to determine the efficiency of the calculation algorithm. The F-score was calculated as the average harmonic between accuracy and completeness and was taken in the range from 0 to 1. The closer the F-score was to 1, the more accurate the calculation results were. Using the proposed method, it was found that the average F-measure for all classes is 0.9069.

The accuracy of calculation of the developed model was established, for the range of ozone solubility within 60...80% accuracy reaches 100%, for other ranges accuracy fluctuates from 83 to 99(%), at average accuracy of 92.25% that in general is a high indicator.

The proposed model allows to determine the efficiency of the ozonation process depending on the set values of temperature and ozone concentration in the ozone-gas mixture.

In the future, the method proposed by the authors to determine the reliability of the probabilistic-statistical model of calculation of the ozonation process can provide constant control over the correctness of the calculations when replenishing the sample data of the model.

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ДОСТОВІРНОСТІ ЙМОВІРНІСНО-СТАТИСТИЧНОЇ МОДЕЛІ РОЗРАХУНКУ ПРОЦЕСУ ОЗОНУВАННЯ

В. Г. Мирончук, Ю. Г. Змієвський, В. В. Захаров, Л. В. Корнієнко
Національний університет харчових технологій

У статті представлено методику визначення достовірності ймовірно-статистичної моделі для розрахунку процесу озонування.

Завдяки проведенню статистичного аналізу полігонів частот і розподілів ймовірностей різних параметрів по класах виявлено, що на процес озонування температура впливає більше, ніж концентрація озону в озono-газовій суміші. Значення температури дає змогу визначити діапазон розчинності озону, тобто розраховувати ефективність процесу озонування.

Результатом подальших досліджень стала методика визначення достовірності ймовірно-статистичної моделі для розрахунку процесу озонування. Для аналізу алгоритмів обробки даних використовувались такі метрики, як точність (Precision) і повнота (Recall). В подальшому їх використали для розрахунку ще однієї метрики — F-міри (F-score). Ця метрика враховує і повноту, і точність, тому стало можливим визначити ефективність алгоритму розрахунку. F-міру розраховували як середнє гармонічне між точністю та повнотою та приймали в межах значення від 0 до 1. Чим ближче F-міри знаходилась до 1, тим точнішими були результати розрахунку. За допомогою запропонованої методики встановлено, що усереднений за всіма класами показник F-міра дорівнює 0,9069.

Встановлено точність розрахунку розробленої моделі. Так, для діапазону розчинності озону в межах 60...80% точність сягає 100%, для інших діапазонів точність коливається від 83 до 99(%), при середній точності 92,25%, що загалом є високим показником.

Запропонована модель дає змогу визначити ефективність процесу озонування залежно від заданих значень температури та концентрації озону в озono-газовій суміші.

У подальшому запропонована авторами методика для визначення достовірності ймовірно-статистичної моделі розрахунку процесу озонування може забезпечити постійний контроль за правильністю розрахунків при поповненні вибірки даних моделі.

Ключові слова: озон, озono-газова суміш, точність, повнота, F-міра.

Постановка проблеми. Застосовуючи процес озонування, можна видаляти небажані органічні домішки з оброблюваних розчинів і забезпечувати мікробіологічну чистоту технологічного обладнання на підприємствах харчової промисловості [1—4]. Перевагою озонування перед схожими способами обробки (з

допомогою окислення) є його екологічність і безпечність для харчових виробництв [1; 4; 5]. Вже існує цілий ряд підприємств харчової галузі, які застосовують озонування для унеможливлення та знищення плісняви на тарі, упаковці й обладнанні. Також використовують обробку озоном слабоалкогольних напоїв, соків та молока з метою підвищення їхнього терміну придатності [1; 3—7]. На сьогодні не існує чітко прописаного та загальновизнаного способу розрахунку або прогнозування ефективності процесу озонування, тому дослідження в цьому напрямі є актуальними.

У статті [8] представлено створення ймовірно-статистичної моделі розрахунку процесу озонування та запропоновано використовувати алгоритм Баєса для її вирішення. Отримана модель дала змогу проводити розрахунок і підбір необхідних параметрів для роботи станцій озонування, зокрема значення розчинності озону залежно від температури та концентрацію озону в озоно-газовій суміші. Однією з головних переваг запропонованої моделі розрахунку є постійне поповнення бази даних, що робить можливим покращення роботи моделі. Водночас додавання нової інформації потребує постійного якісного аналізу розподілення даних по класах для запобігання накладання їх один на одного. Також важливим загалом та особливо для ймовірно-статистичних моделей є оцінка достовірності (адекватності) створеної моделі, оскільки це дає змогу впевнитись у правильності математичних розрахунків.

Мета дослідження: розроблення доступної та універсальної методики визначення достовірності ймовірно-статистичної моделі для розрахунку розчинності озону.

Результати і обговорення. Побудова полігонів відносних частот та їх аналіз. Згідно з [8] розподіл значень розчинності озону було розбито на чотири класи (табл. 1).

Таблиця 1. Поділ діапазону значень розчинності озону на класи

Клас	C_1	C_2	C_3	C_4
Діапазон значень, %	$60 \leq Y < 80$	$40 \leq Y < 60$	$20 \leq Y < 40$	$0 \leq Y < 20$

Вихідні дані представлено у вигляді бази даних (табл. 2), яка може постійно поповнюватися новою інформацією для розрахунку.

Таблиця 2. Формування класів і параметрів вибірки

№	Температура озоно-газової суміші t , °C	Концентрація озону в озоно-газовій суміші x , г/м ³	Розчинність озону Y , %	Клас
	5	120	47	C_2
	0	70	66	C_1
	10	190	40	C_2
	30	20	17	C_4
	25	125	15	C_4
	0	50	67	C_2
...

Для якісного аналізу вихідних даних були побудовані полігони відносних частот (рис. 1 та 2) по кожному класу (для різних діапазонів розчинності озону) [2; 3].

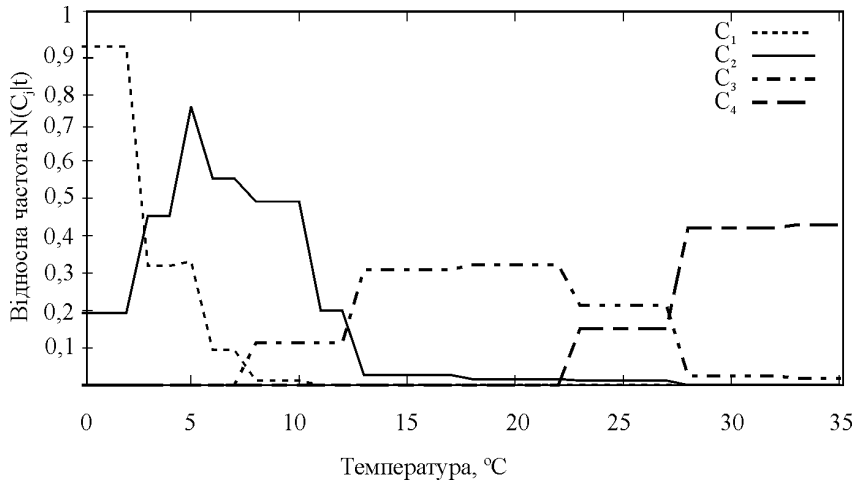


Рис. 1. Полігон відносних частот для температури озono-газової суміші

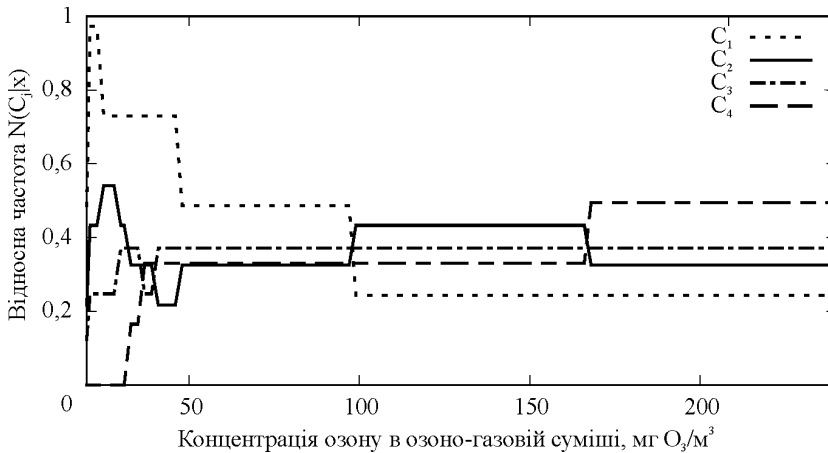


Рис. 2. Полігон відносних частот для концентрації озону в озono-газовій суміші

Зазвичай, для аналізу використовуються згладжені (неперервні) полігони відносних частот [9; 10]. Щоб перейти від дискретного розподілу до неперервного (рис. 3 та 4) використовували згладжування методом Безьє (з параметром $n = 3$, що відповідає кубічним поліномам) за такими співвідношеннями:

$$P(t) = \sum_{i=0}^n P_i \cdot J_{n,i}(a), \quad 0 < a < 1, \quad (1)$$

де $J_{n,i}(a) = C_n^i \cdot a^i \cdot (1-a)^{n-i}$ — поліноми Бернштейна; a — змінна величина ($a = t$ для розподілів температур та $a = x$ для розподілів концентрацій).

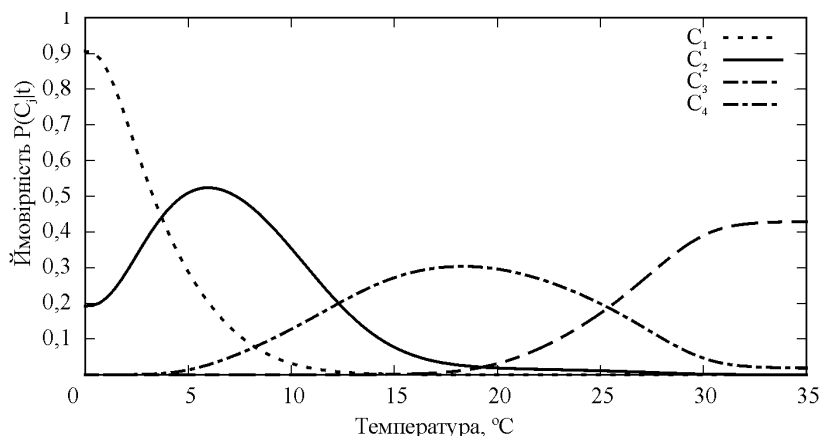


Рис. 3. Згладжений полігон відносних частот для температури озono-газової суміші

Отримавши полігони відносних частот та їх згладжені побудови можна робити певні висновки про якість використаних даних.

Аналіз частотних полігонів і розподілів імовірностей показав (рис. 1 та 3), що кожний з класів має своє значення екстремуму (табл. 3). Можна зробити висновок, що температура має значний вплив на ефективність процесу озонування, а також дає змогу визначити діапазон розчинності озону, тобто розрахувати ефективність процесу озонування.

Другий параметр, концентрація озону в газовій суміші (x), показав нижчу цінність для визначення ефективності процесу озонування (визначення класу). Починаючи з концентрації $x = (110 \sim 240)$ мг(O_2)/м³, імовірність належності процесу до класу C_1 становить $\sim 27\%$ і не змінюється. Розподіл для класу C_1 (рис. 2 та 4) можна пояснити так: при малій концентрації більша кількість озону розчиняється, а при збільшенні концентрації спостерігається поступове зменшення кількості розчиненого озону. Розподіли по класах C_2, C_3 і C_4 для x значно накладаються один на одного і лише в діапазоні $(0 \leq x \leq 60)$ мг(O_2)/м³ чітко виділяється клас C_1 . Незважаючи на це, початкова концентрація озону x може бути застосована як додатковий параметр для розрахунку.

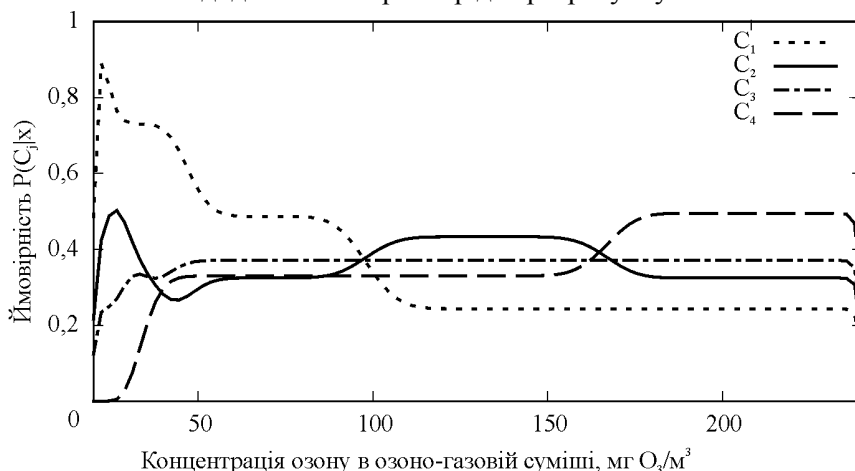


Рис. 4. Згладжений полігон відносних частот для температури озono-газової суміші

Таблиця 3. Вплив значень температури та концентрації озону в озono-газовій суміші на належність до класу

Належність до класу	Діапазон значення температури, °C	Діапазон концентрацій, мг(O ₂)/м ³
C ₁	0...2,5	20...60
C ₂	3...10	110...160
C ₃	15...22	50...240
C ₄	30...35	170...240

Оцінка достовірності (адекватності) створеної ймовірно-статистичної моделі є важливим заключним етапом при розробці моделі. Одна з найбільш широкоживаних методик визначення точності (адекватності) математичних ймовірно-статистичних моделей є F-міра або в міжнародному позначенні F-score. Цей показник розраховується для кожної множини подій (для кожного класу) за результатами тестування. «Позитивна» оцінка означає, що подія (набір вхідних параметрів або даних) належить до класу C_i, «Негативна» — не належить до класу C_i. У подальшому оцінка моделі порівнюється з певним еталоном, зазвичай з вибіркою експериментальних даних. Вірними прогнозами моделі є ті події, для яких оцінка моделі збігається з експертною оцінкою.

Для аналізу алгоритмів обробки даних використовувались такі метрики, як точність (Precision) та повнота (Recall). Точність у межах класу — це частка подій, що дійсно належать до певного класу відносно всіх подій, які модель віднесла до цього ж класу. Повнота — це частина визначених класифікатором подій, які належать до певного класу відносно всіх подій (даних з вибірки) [9; 10].

Чим більше повнота й точність наближаються до 100%, тим точніше відбувається розрахунок (класифікація), але на практиці максимальна повнота та точність одночасно недосяжні, тому необхідно знаходити певний баланс. F-міра (F-score) — метрика, що враховує і повноту, і точність та дає змогу визначити адекватність (ефективність) алгоритму розрахунку. F-міра розраховується як середнє гармонічне між точністю та повнотою (формула 3) та набуває значення від 0 до 1. При низькій точності або повноті F-міра прямує до 0, при високих показниках — до 1 [9; 10].

$$F_{\text{score}} = 2 \frac{\text{Precision} \cdot \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}} \quad (3)$$

У свою чергу Precision та Recall розраховуються таким чином:

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP} \quad ; \quad (4)$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (5)$$

де TP — позитивно-позитивна оцінка; TN — позитивно-негативна оцінка; FP — негативно-позитивна оцінка; FN — негативно-негативна оцінка.

Було проведено тестування математичної моделі для наборів (комбінацій) вхідних параметрів: концентрація озону x від 20 до 240 (г/м³), з кроком 1 г/м³

та для температур t від 0 до 35(°C), з кроком 1°C. Результати тестування по кожному класу приведені у вигляді матриць помилок у табл. 4.

Таблиця 4. Матриця помилок при тестуванні по кожному класу

		Оцінка за експериментальними даними	
Клас C ₁			
Розрахунок моделі (оцінка моделі)		Позитивна	Негативна
	Позитивна	298	0
	Негативна	31	1871
Клас C ₂			
Розрахунок моделі (оцінка моделі)		Позитивна	Негативна
	Позитивна	698	104
	Негативна	41	1357
Клас C ₃			
Розрахунок моделі (оцінка моделі)		Позитивна	Негативна
	Позитивна	570	114
	Негативна	77	1439
Клас C ₄			
Розрахунок моделі (оцінка моделі)		Позитивна	Негативна
	Позитивна	412	4
	Негативна	73	1711

Використовуючи матрицю помилок та формули (3)—(5) було розраховано значення Precision, Recall та F-міру для кожного із класів.

Таблиця 5. Сумарні результати аналізу ймовірнісно-статистичної моделі з використанням F-міри

Клас	Precision (точність), %	Recall (повнота), %	F-міра
C ₁	100,00	91,00	0,9506
C ₂	87,00	94,00	0,9059
C ₃	83,00	88,00	0,8565
C ₄	99,00	85,00	0,9145
Середнє значення по всіх класах	92,25	89,50	0,9069

За аналізом статистичних метрик для представленої ймовірнісно-статистичної моделі (табл. 5) при зміні вхідних параметрів від 20 до 240 (г/м³) для концентрації озону в озono-газовій суміші x з кроком 1 г/м³ і температури t від 0 до 35(°C) з кроком 1°C можна зробити такі висновки: для діапазону розчинності озону в межах від 60 до 80% (клас C₁) точність класифікації сягає 100%. Для всіх інших класів точність коливається від 83 до 99(%) при середній точності 92,25%, що є високим показником. Узагальнений та усереднений за всіма класами показник F-міра дорівнює 0,9069.

Висновки

Застосування ймовірнісно-статистичної моделі розрахунку процесу озонування з використанням полігонів частот підтвердило доцільність вибору температури й концентрації озону в озono-газовій суміші як параметрів для розрахунку значення розчинності озону. Достовірність і адекватність запропонованої моделі

з використанням F-міри показала високу точність розрахунку розчинності озону, при цьому усереднений показник F-міра дорівнює 0,9069.

Література

1. Degremont. Технический справочник по обработке воды. Том 1 и Том 2. / Andriamirado L. и др. Спб., 2007. 1798 с.

2. Clark P. J. Ozone Cure for Some Sanitation Problems. *Food Technology*. 2004. № 58. P. 75—76.

3. Koros W. J., Ma Y. H., Shimidzu T. Terminology for membranes and membrane processes (IUPAC Recommendations). *Pure and Applied Chemistry*. 1996. Vol. 68, is. 7. P. 1479—1489.

4. Worldwide Ozone Capacity for Treatment of Drinking Water and Wastewater: A Review / B. L. Loeb and all. *Ozone: Science & Engineering: The Journal of the International Ozone Association*, 2012. № 34. P. 64—77.

5. Shigezo N., Takahara H. Ozone Contribution in Food Industry in Japan. *Ozone: Science and Engineering*. 2006. № 28. P. 425—429.

6. Efficacy and Fumigation Characteristics of Ozone in Stored Maize / R. A. Pandiselvam and all. *Journal of Stored Products Research*. 2001. № 37, P. 371—382.

7. Khadre N. A., Yousef A. E., Kim J. G. Microbiological Aspects of Ozone Applications in Food: A Review. *Journal of Food Science*. 2001. № 66. P. 1242—1252.

8. Захаров В. В., Устінов О. А., Змієвський Ю. Г., Мирончук В. Г. Застосування алгоритму наївного баєсового класифікатора для розрахунку та прогнозування процесів озонування. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2018. Том 24, № 5, Ч. 1. С. 91—98.

9. Langseth H., Nielsen T. D. Classification using Hierarchical Naive Bayes models. *Mach Learn*. 2006. № 63. С. 135—159.

10. Ковтун Н. В. Теорія статистики. К.: Знання, 2012. 399 с.

SYSTEMS OF UTILIZATION OF SECONDARY STEAM OF APPARATUS FOR BEER WORT

A. Sokolenko, O. Shevchenko, V. Kostyuk, S. Litvynchuk

National University of Food Technologies

Key words:

*Secondary steam
Utilization
Heat of condensation
Wort welding machine
Thermodynamic
transformations*

Article history:

Received 31.07.2020
Received in revised form
14.08.2020
Accepted 28.08.2020

Corresponding author:

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

ABSTRACT

The article concerns the analysis of features and methods of calculation of thermodynamic transformations in systems of wort welding machines for utilization of secondary steam. The logical chain of technological transformations in brewing departments consists of interconnected processes of preparation of mash, filtration of mash mass with dividing into components of liquid fraction of wort and shot, wort boiling and its cooling.

The final result of the study is a generalization of the advantages and disadvantages in the processes at breweries and the development of proposals to limit the shortcomings. The research methodology is focused on the use of laws and regulations of technical thermodynamics, material and energy balances, comparison of the efficiency of mechanical and thermal compression of secondary steam.

The research results show the effectiveness of the application of compensatory processes to ensure multi-stage use of the phase transitions of evaporation and condensation in the modes of heat treatment.

Thermodynamic parameters concerning compensatory processes and their efficiency are given. Information on the alternative use of secondary steam potentials for beer pellet drying and prospects for the use of the thermal potential of the cooled wort are given.

Utilization of energy resources of secondary steam, which is generated in wort welding machines, involves the use of heat of condensation through the direct implementation of this process and the transfer of energy potential to another material carrier or with a preliminary addition within thermodynamic parameters to increase condensing pressure and temperature. In the first case, the possibilities of this utilization in parallel processes of heating, drying media at condensation temperatures are close to 100°C.

СИСТЕМИ УТИЛІЗАЦІЇ ВТОРИННОЇ ПАРИ СУСЛОВАРИЛЬНИХ АПАРАТІВ

А. І. Соколенко, О. Ю. Шевченко, В. С. Костюк, С. І. Літвинчук
Національний університет харчових технологій

У статті проаналізовано особливості і методика розрахунків термодинамічних перетворень у системах утилізації вторинної пари сушловарильних апаратів. Логічний ланцюжок технологічних перетворень у варильних відділеннях пивзаводів складається із взаємопов'язаних процесів приготування заторів, фільтрації заторної маси з розділенням на складові рідинної фракції сусла і дробини, варіння сусла та його охолодження.

Кінцевий результат дослідження — узагальнення переваг і недоліків у процесах варильних відділень пивзаводів і розробка пропозицій щодо обмеження недоліків. Методика досліджень зорієнтована на використання законів і положень технічної термодинаміки, матеріальних і енергетичних балансів, порівняння ефективності використання механічної і термокомпресії вторинної пари.

Результати досліджень показують ефективність застосування компенсаційних процесів для забезпечення кількоступеневого використання фазових переходів випаровування і конденсації в режимах теплової обробки середовищ.

Наведено термодинамічні параметри, що стосуються компенсаційних процесів та їх ефективності, а також інформацію щодо альтернативного застосування потенціалів вторинної пари для сушіння пивної дробини і перспектив використання теплового потенціалу охолоджуваного сусла.

Утилізація енергетичних ресурсів вторинної пари, генерування якої відбувається в сушловарильних апаратах, стосується використання теплоти конденсації за рахунок безпосереднього здійснення цього процесу і передавання енергетичного потенціалу іншому матеріальному носію або з попереднім доповненням в рамках термодинамічних параметрів для підвищення тиску і температури конденсації. У першому випадку з'являються можливості вказаної утилізації в паралельних процесах нагрівання, сушіння середовищ за температур конденсації, наближених до 100°C.

Ключові слова: вторинна пара, утилізація, теплота конденсації, сушловарильний апарат, термодинамічні перетворення.

Постановка проблеми. Раціональне використання енергетичних ресурсів природного походження має два наслідки. Перший з них стосується можливості вирішення технологічних завдань плинного спрямування і може оцінюватися як мікропроцес на рівні планетарного масштабу, а другий має визначатись як складова інтегрального результату. Перспективи подальших змін в енергетичних і матеріальних балансах потребують термінового і невідкладного перегляду з огляду на використання відновлюваних ресурсів. Останнє має стосуватись більшості технологій, що використовуються в господарчій діяльності людства і бути логістичною складовою природних колообігів.

Важливим напрямком відновлення низькотемпературних відходів теплових ресурсів залишається використання теплових насосів у їх класичному виконанні [1—4], однак технології харчових виробництв з фазовими переходами дають

змогу здійснювати кількоступеневі трансформації енергетичних ресурсів на основі компенсаційних процесів у системах утилізації вторинної пари.

Мета дослідження: оцінка термодинамічних параметрів і перспектив утилізації потенціалів вторинної пари сушловарильних апаратів.

Методика дослідження зорієнтована на використання законів і положень технічної термодинаміки для узагальнення теоретичних положень у системах утилізації вторинної пари і розробки рекомендацій для впровадження.

Результати і обговорення. До числа технологічних вимог варіння пивного сусла відноситься його концентрування з випарюванням 10...12% рідинної фракції з утворенням відповідної кількості вторинної пари. Енергетичний потенціал останньої у формі теплоти конденсації використовується за рахунок підвищення термодинамічних параметрів тиску і температури. При цьому і термодинамічна, і механічна компресії вторинної пари означають введення до неї додаткового енергетичного потенціалу. Внаслідок такого доповнення генерування вторинної пари збільшується, і тому для стабілізації ситуації необхідно її частину з процесу вилучати. Проте такий висновок потребує обґрунтування, оскільки вилучати можливо частину вторинної пари або частину суміші первинної і вторинної пари. Доцільність вибору варіанта зорієнтована на підвищений енергетичний потенціал суміші порівняно з потенціалом вторинної.

Генерування вторинної пари в сушловарильних апаратах пов'язане з необхідністю вилучення частини рідинної фази з сусла, яка у більшості випадків відображує кількість промивних вод, введених у систему під час фільтрації заторів для підвищення виходу екстрактивних речовин. Очевидно, що результативність досягнення останнього підвищення пов'язана з їхньою інтенсивністю і кількістю введення, що, власне, приводить до необхідності випаровувати сусло кип'ятінням. Разом з тим сама технологія подовженого кип'ятіння сусла з додаванням хмелю є важливою компонентою процесу, яка не може бути виключена, і це означає неминучість відповідних випарів сусла.

Енергетичні витрати в таких процесах пов'язані з теплою пароутворення і кількістю генерованої вторинної пари, що визначає абсолютну доцільність регенерації та використання її енергетичного потенціалу. У практичному застосуванні відомі три напрямки енергетичних трансформацій.

Перший з них стосується конденсації вторинної пари з передаванням теплової енергії воді як рідинному теплоносію з використанням у паралельних енергообмінних процесах. Однак у технологіях варильних відділень і загальних технологіях пивзаводів практично відсутні синхронізовані в часі та значеннях енергетичних потенціалів процеси. Це приводить до необхідності створення енергонакопичувальних систем з певною мірою недетермінованого використання їхніх теплових потенціалів. Останнє стосується режимів санітарного оброблення технологічного обладнання, використання в подальших процесах варіння тощо. Асинхронні термодинамічні процеси і дії приводять до необхідності пошуків нових напрямків утилізації вторинних енергетичних ресурсів.

Синхронним може вважатися підхід, за якого потенціал вторинної пари сушловарильного апарата використовується для сушіння дробини у фільтраційному апараті, що пропонується в патенті України 98892 [5].

Другий і третій напрямки використання потенціалів вторинної пари зорієнтовані на створення рециклів, за яких після термодинамічних доповнень

парових потоків вони забезпечують подальше продовження процесів випарювання суслу. Відмінності технологій другого і третього напрямків стосуються вказаних способів термодинамічних доповнень.

Так, другий напрямок пропонує використовувати механічну компресію вторинної пари, а третій — термодинамічну компресію (рис. 1 і 2).

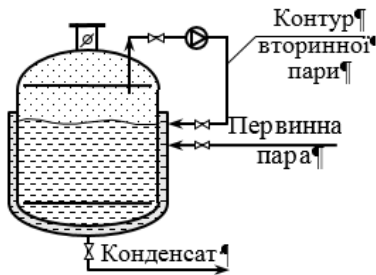


Рис. 1. Схема системи з механічною компресією

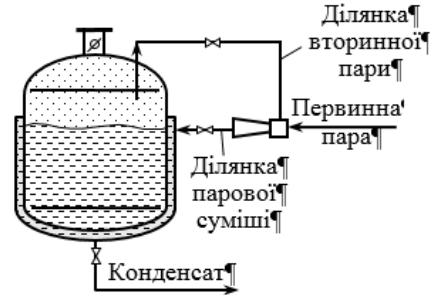


Рис. 2. Схема системи з термодинамічною компресією

Завдяки механічній або термодинамічній компресії вторинної пари досягаються підвищення таких її параметрів, як тиск P , температура t , ентальпія $h''_{в.п}$ і зниження теплоти пароутворення r та ентропії s'' . При цьому варіанту на рис. 1 відповідає зростаючий надлишок вторинної пари у зв'язку з енергетичною трансформацією роботи механічного компресора, а в схемі на рис. 2 такий надлишок утворюється за рахунок енергії первинної пари, що підводиться до ежекційного термокомпресора. В обох випадках відбуваються різновиди компенсаційних процесів, які відповідно до другого закону термодинаміки забезпечують можливість використання енергетичних потенціалів трансформованої вторинної пари за рахунок підвищення її температури конденсації. Очевидно, що межі її необхідного зростання визначають рушійний фактор теплопередачі, який разом з коефіцієнтом теплопередачі і поверхнею теплопередачі забезпечують інтенсивність кипіння середовища. У загальному випадку математична формулізація останнього переліку відома у формі:

$$\frac{dQ}{d\tau} = kF \Delta t, \text{ кВт}, \quad (1)$$

де k — коефіцієнт теплопередачі, кВт/(м²·К); F — поверхня теплопередачі, м²; Δt — різниця температур гріючої пари і середовища за кип'ятіння, К.

Умова (1) відповідає тепловому потоку в усталеному режимі, однак вона не відображує можливостей інтенсивності процесу. Останнє пов'язано з впливом масштабного фактора у формі відношення поверхні теплопередачі до об'єму середовища V [6]. Зменшення співвідношення F/V у зв'язку зі зростанням об'ємів суловарильних апаратів привело до необхідності використання зовнішніх теплообмінних апаратів з більш розвиненою поверхнею теплопередачі. Відступ від класичної схеми суловарильного апарата із сорочковою системою нагрівання разом з тим супроводжується необхідністю влаштування циркуляційного контуру киплячого суслу з відповідними експлуатаційними й енергетичними ускладненнями та погіршенням умов циркуляції суслу в апараті [7; 8]. Разом з

тим можливість збільшення площі поверхні теплопередачі F розв'язує проблему оптимального співвідношення F/V і надає можливість обмежувати рушійний фактор Δt . Останнє спричиняє обмеження енергетичних витрат у компенсаційних процесах.

Оцінку цих перспектив виконаємо на основі аналізу процесів у такому перебігу. Їхня термодинамічна сутність відображена на рис. 3 у формі діаграми $T-s$. Тут ізотерма $B-C$ відповідає температурі генерування вторинної пари, ордината $C-D$ — адиабатному стисканню парової фази компресором, ізотерма $D-M$ — процесу конденсації вторинної пари. Енергетичному потенціалу сула, нагрітому до температури 373,16 К, відповідає площа $ABB'A$, теплоті генерування вторинної пари — $BCC'B'B$, теплоті конденсації — площа $CDMM'C'S$. Енергетичним втратам з конденсатом відповідає площа $ABMM'A$.

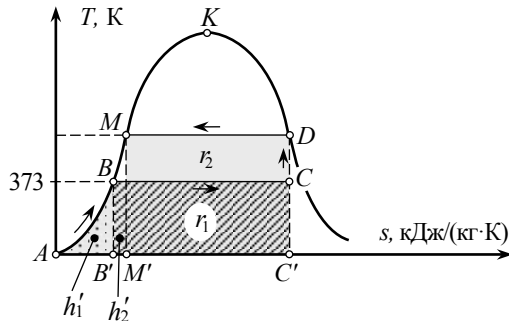


Рис. 3. Діаграма $T-s$ сукупності процесів генерування, стискання і конденсації вторинної пари

Компенсаційний процес у формі стискання вторинної пари відповідно до другого закону термодинаміки дає змогу забезпечити режим теплопередачі за рахунок створюваних перепадів тиску ΔP і температури Δt .

У подальших міркуваннях звернемося до аналізу параметрів насиченої водяної пари (табл. 1).

Таблиця 1. Термодинамічні параметри насиченої водяної пари

P , МПа	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24
t , °С	99,6	104,8	109,33	113,3	116,9	120,23	123,27	126,09
h' , кДж/кг	417,4	439,4	458,5	475,4	490,7	504,8	517,8	529,8
h'' , кДж/кг	2675	2683	2690	2696	2702	2707	2711	2715
r , кДж/кг	2258	2244	2232	2221	2211	2202	2193	2185
$\Delta h'$, кДж/кг	—	22	41,1	58	73,3	87,4	100,4	112,4
$\Delta h''$, кДж/кг	—	8	15	21	27	32	36	40
Δr , кДж/кг	—	14	26	37	47	56	65	73
Δt , °С	—	5,2	9,73	13,72	17,3	20,63	23,67	26,49

Параметри P , t , h' , h'' , r є табличними [9], а значення $\Delta h'$, $\Delta h''$, Δr та Δt розраховувалися на основі попередніх за формулами:

$$\Delta h' = h'_2 - h'_1; \quad \Delta h'' = h''_2 - h''_1; \quad \Delta r = r_1 - r_2, \text{ кДж/кг}; \quad (2)$$

$$\Delta t = t_2 - t_1, \text{ °С}, \quad (3)$$

де параметри з індексом 1 відносяться до генерованої вторинної пари за тиску 0,1 МПа, а параметри з індексом 2 відображують їхнє значення за інших тисків.

Фізичний взаємозв'язок між тиском пари і її температурою дає змогу обирати таке сполучення параметрів, яке відповідає бажаному Δt . Стискання вторинної пари з перепадом тисків ΔP приводить до підвищення її енергетичного потенціалу у формі h_2'' і одночасно до зниження теплоти пароутворення. Вибраному значенню h_2'' відповідає співвідношення:

$$h_2'' = h_1'' + \Delta h'' . \quad (4)$$

У процесі конденсації енергетичний потенціал h_2'' розподіляється між параметрами r_2 і h_2' , тобто:

$$h_2'' = r_2 + h_2' . \quad (5)$$

Наведені співвідношення і дані табл. 1 вказують на доцільність обмеження перепадів тисків ΔP і поглибленого використання енергетичного потенціалу конденсату. У зв'язку з останнім режими теплопередачі мають організовуватись на рівнях повного використання теплоти конденсації r_2 і частки від граничного значення $\Delta h'$. Якщо частка складає величину $\beta < 1$, то за початкового значення величини випару $m''_{(п)}$ його кінцева величина становитиме:

$$m''_{(к)} = m''_{(п)} \frac{r_2 + \beta \Delta h'}{r_1} . \quad (6)$$

Збігу заданої і кінцевої кількості відповідає умова:

$$\beta = \frac{r_1 - r_2}{\Delta h'} , \quad (7)$$

а величина енергетичних втрат визначається залежністю:

$$\Delta h'_{втр} = h_2' - \beta h_2' = h_2' (1 - \beta) . \quad (8)$$

Теоретичну термодинамічну ефективність рекуперативного процесу визначимо співвідношенням повторно використаної теплової енергії до енергетичних витрат на стискання вторинної пари:

$$\psi = \frac{r_2 + \beta h_2'}{\Delta h_2''} . \quad (9)$$

Результати розрахунків за використання формул (7) та (8) наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Показники енергетичної ефективності рекуперативних процесів

P , МПа	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24
β	-	0,6310	0,6326	0,6379	0,6412	0,6417	0,6470	0,6490
ψ_0	-	280,13	146,80	82,26	81,90	68,80	60,90	54,63
ψ	-	315,45	168,14	120,20	93,54	78,92	70,40	63,22

Значення коефіцієнта ψ_0 розраховувалося без урахування енергетичного потенціалу конденсату за формулою:

$$\psi_0 = \frac{r_2}{\Delta h_2''} . \quad (10)$$

З порівняння значень коефіцієнтів ψ та ψ_0 випливає, що навіть за повних втрат теплоти конденсату ефективність процесу рекуперації потенціалу вторинної пари продовжує залишатися на рівні високої доцільності. Такі повні втрати на рис. 4 відображуються відрізком h' , що відповідає енергетичному потенціалу конденсату.

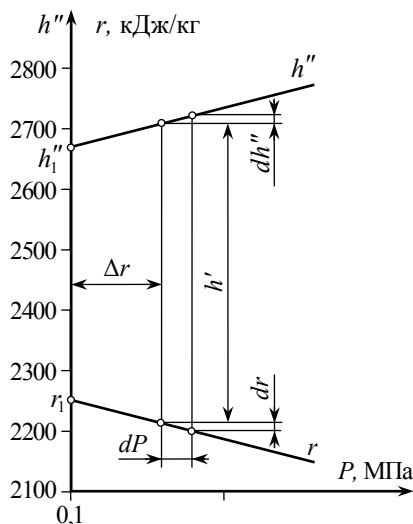


Рис. 4. Графічна інтерпретація термодинамічних параметрів

З порівняння значень коефіцієнтів ψ та ψ_0 випливає, що навіть за повних втрат теплоти конденсату ефективність процесу рекуперації потенціалу вторинної пари продовжує залишатися на рівні високої доцільності. Такі повні втрати на рис. 4 відображуються відрізком h' , що відповідає енергетичному потенціалу конденсату.

Розрахункові дані, наведені в табл. 1 та 2, відповідають питомим величинам, проте абсолютна оцінка ситуації має супроводжуватися показниками, прив'язаними до вмісту сусліварильних апаратів. У таких підрахунках будемо вважати, що величина випарів складає 10% від маси суслу. В табл. 3 наведено значення енергетичних витрат на стискання вторинної пари E , теоретичні миттєві потужності приводів компресорів N та енергетичні втрати з конденсатом h' .

Перерахунок енергетичних втрат з конденсатом на еквівалент по умовному паливу з теплотворною здатністю 29330 кДж/кг для сусліварильного апарата місткістю 10 м³ за значення $P = 0,12$ МПа приводить до значення $m_{\text{екв}} = 750$ кг, а при $P = 0,24$ МПа маємо 3832 кг. Аналогічні показники для апаратів більшої місткості будуть пропорційними наведеним показникам. Їхні числові значення вказують на перспективи використання заходів щодо створення замкнених циркуляційних контурів з включенням до них потенціалів конденсату. Це доцільно, оскільки теплота конденсації вторинної пари завжди менша за теплоту генерування в системах з різними тисками на користь досягнення рушійного фактора теплопередачі у формі різниці температур.

Системи з термодинамічною компресією вторинної пари (рис. 2) головною відмінністю від попереднього випадку мають заміну механічного компресора

пароежектором, який забезпечує її відсмоктування з парового об'єму апарата і подальше стискання в дифузорі, що створює відповідний температурний перепад і тиск парової суміші. У зв'язку з цим маємо взаємодію трьох видів пари, а саме: первинну, вторинну пару випару і суміш первинної та вторинної пар.

Таблиця 3. Показники енерговитрат і потужностей, пов'язаних зі стисканням вторинної пари

P , МПа	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22	0,24
Апарат місткістю 10 м ³ суцла								
E , МДж	—	8,0	15,0	21,0	27,0	32,0	36,0	40,0
N , кВт	—	1,1	2,08	2,92	3,75	4,44	5,0	5,5
h' , МДж	—	22,0	41,1	58,0	73,3	87,4	100,4	112,4
Апарат місткістю 50 м ³ суцла								
E , МДж	—	40,0	75,0	105,0	135,0	160,0	180,0	200,0
N , кВт	—	5,6	10,42	14,58	18,75	22,2	25,0	27,8
h' , МДж	—	110,0	205,5	290,0	366,5	437,0	502,0	562,0
Апарат місткістю 100 м ³ суцла								
E , МДж	—	80,0	150,0	210,0	270,0	320,0	360,0	400,0
N , кВт	—	11,1	20,83	29,17	37,5	44,4	50,0	55,5
h' , МДж	—	220,0	411,0	580,0	733,0	874,0	1004,0	1124,0

Термодинамічні параметри первинної пари відповідають виробничим умовам, їхні стандартні позначки доповнимо відповідними індексами, а саме:

$$m_{п.п}, h'_{п.п}, h''_{п.п}, r_{п.п}.$$

Позначки параметрів вторинної пари мають вигляд:

$$m_{в.п}, h'_{в.п}, h''_{в.п}, r_{в.п}$$

і відповідно до суміші отримаємо:

$$m_{сум}, h'_{сум}, h''_{сум}, r_{сум}.$$

Пошук співвідношень наведених параметрів виконаємо на основі матеріальних і теплових балансів, маючи на увазі, що і для первинної, і вторинної пари вони відомі. Вибір тиску і, відповідно, температури конденсації пари суміші здійснюється з урахуванням умови (1), що дає змогу реалізувати такі кроки. Отже:

$$m_{сум} = m_{в.п} + m_{п.п}; \tag{11}$$

$$m_{сум} h''_{сум} = m_{в.п} h''_{в.п} + m_{п.п} h''_{п.п}. \tag{12}$$

Звідси визначаємо масу первинної пари, необхідну для забезпечення відповідних параметрів парової суміші:

$$m_{п.п} = \frac{m_{в.п} (h''_{сум} - h''_{в.п})}{h''_{п.п} - h''_{сум}}. \tag{13}$$

Умови (11)—(13) записані таким чином, що відповідають повним результатам процесу, однак вони ж просто трансформуються до рівня потоку:

$$\frac{dm_{п.п}}{d\tau} = \frac{dm_{в.п}}{d\tau} \frac{(h''_{сум} - h''_{в.п})}{h''_{п.п} - h''_{сум}}. \tag{14}$$

Масовий потік випару або його загальна кількість регламентуються технологічним завданням, яке однозначно має бути виконаним. Це означає, що в

системі генерується надлишок у складі парової суміші, рівний $m_{п.п}$. Очевидно, що останній за інших рівних умов визначається тиском первинної пари і відповідним йому значенням $h''_{п.п}$. Для визначення очікуваного діапазону змін $m_{п.п}$ і надлишку парової суміші виконаємо розрахунки за значення $h''_{сум} = 2690$ кДж/кг, що відповідає тиску 0,14 МПа при ентальпії вторинної пари $h''_{в.п} = 2675$ кДж/кг. Тоді параметром впливу залишається ентальпія первинної пари, числовим значенням якої відповідають певні тиски. Розрахунки виконаємо за умови, що $m_{в.п} = 1$ кг. Результати наведено в табл. 4 та на рис. 5.

Таблиця 4. Співвідношення термодинамічних параметрів у системі з термокомпресором за припинення дії парової суміші

P , МПа	0,20	0,24	0,30	0,40	0,50	0,60
$h_{п.п}$, кДж/кг	2707	2715	2726	2739	2749	2757
$m_{п.п}$, кг	0,8824	0,6	0,417	0,306	0,254	0,224

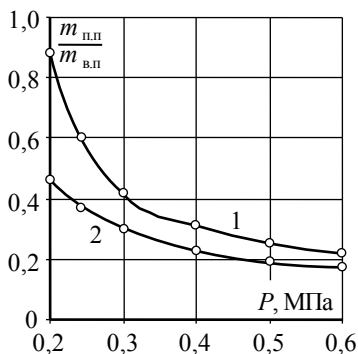


Рис. 5. Залежність кількостей первинної і вторинної пари від тиску: 1 — за відбору парової суміші; 2 — за відбору вторинної пари

Компенсація кількості парової суміші по значенню Δr складає:

$$m_{сум} = 26:2232 = 0,0116 \text{ кг.}$$

Порівняння значення $\Delta m_{сум}$ з величиною $m_{п.п}$ приводить до висновку про можливість нехтування цими компенсаційними витратами. Водночас утворення надлишкової пари в системі приводить до висновку про необхідність її утилізації. За даними промислових підприємств такий надлишок складає близько 30% від генерованої вторинної пари, що вказує на технологічну й економічну доцільність вирішення цього завдання. З одержаних залежностей (13) і (14) випливає, що єдиною можливістю зменшити кількість надлишкової парової суміші в цій технології є збільшення енергетичного потенціалу первинної пари $h''_{п.п}$ за відповідного збільшення тиску. Фізичною особливістю і завданням цього процесу змішування первинної і вторинної пари є підвищення температури $t_{сум}$ при тому, що потреба в підвищенні енергетичного потенціалу

$h''_{в.п}$ відсутня. Наведена інформація приводить до висновку про те, що надлишок парової фази, який виводиться з циклу, повинен стосуватись вторинної пари, а не суміші. У такому випадку кількість вторинної пари, що підводиться до ежектора, складає $m_{в.п} - m_{п.п}$, а тому матеріальний баланс щодо останнього записуємо у формі:

$$(m_{в.п} - m_{п.п}) + m_{п.п} = m_{сум} = m_{в.п}, \quad (15)$$

а енергетичний баланс приводиться до виду:

$$m_{сум} h''_{сум} = (m_{в.п} - m_{п.п}) h''_{в.п} + m_{п.п} h''_{п.п}. \quad (16)$$

Підстановкою $m_{сум}$ і відповідними перетвореннями одержуємо:

$$m_{в.п} h''_{сум} = m_{в.п} h''_{в.п} - m_{п.п} h''_{в.п} + m_{п.п} h''_{п.п} \quad (17)$$

або

$$m_{в.п} (h''_{сум} - h''_{в.п}) = m_{п.п} (h''_{п.п} - h''_{в.п}). \quad (18)$$

Звідси визначаємо необхідну кількість первинної пари:

$$m_{п.п} = \frac{m_{в.п} (h''_{сум} - h''_{в.п})}{h''_{п.п} - h''_{в.п}}. \quad (19)$$

Порівняльні розрахунки виконаємо з урахуванням значень параметрів попереднього випадку (табл. 5).

Таблиця 5. Співвідношення термодинамічних параметрів системи за умови припинення дії частини вторинної пари

P , МПа	0,20	0,24	0,30	0,40	0,50	0,60
$h''_{п.п}$, кДж/кг	2707	2715	2726	2739	2749	2757
$m_{п.п}$, кг	0,469	0,375	0,294	0,234	0,203	0,183

За одержаними даними доповнюємо рис. 5 графічною інтерпретацією за останнім розрахунком. Таке порівняння вказує на доцільність переходу до останнього варіанта, як і до використання первинної пари зі збільшеними тисками. Позначивши співвідношення мас первинної і вторинної пари як

$$\frac{m_{п.п}}{m_{в.п}} = \gamma, \quad (20)$$

визначимо втрати енергетичних потенціалів з паровою фазою і конденсатом:

$$E_{втр} = E_{в.п} + E_{конд} = \gamma m_{в.п} h''_{в.п} + m_{в.п} h'_{в.п} = m_{в.п} (\gamma h''_{в.п} + h'_{в.п}). \quad (21)$$

Наведені міркування і розрахунки приводять до висновку про недосконалість енерготехнологічних систем варильних агрегатів пивзаводів. Започатковується ця недосконалість вимогами до структури подрібненого солоду, за якими в операціях необхідно поєднати результати, які не узгоджуються між собою і стосуються підготовки заторів, повноцінного оцукрювання середовищ, утворення фільтраційного шару у фільтраційному апараті та відокремлення освітленого суслу у формі рідинної фракції з максимальним вилученням екстрактивних речовин. Узгодження неузгоджуваних вимог щодо фільтрації досягається за рахунок використання промивних вод у завершальній стадії процесу, однак ця

його остання частина обумовлює потужний термодинамічний негатив у процесі варіння сусла.

Надлишок рідинної фракції, створений промивними водами, приводить до необхідності випарювання 11...12% від маси і до чергової задачі щодо використання потенціалів генерованої вторинної пари.

Відсутність паралельних енергоматеріальних потоків у варильних відділеннях, які б стосувалися безпосередньо технологій виробництва пива, визначила передумови створення системи рекуперації потенціалів випарів на основі теплових насосів, теоретична оцінка яких була одним із завдань цього дослідження. Разом з тим можливо прийти до висновку про те, в якійсь мірі використання запропонованої системи з тепловими насосами стосується обмежень наслідків варильних технологій і агрегатів. Зазначене підтверджує доцільність аналізу першопричин і можливостей обмеження таких негативних впливів.

Варильні відділення пивзаводів характеризуються утворенням додаткових вихідних потоків дробини після завершення процесу фільтрації. За своїм складом пивна дробина є достатньо цінним біологічним компонентом відгодовлі худоби. В технологіях, які використовувалися раніше, дробина гідротранспортером від фільтраційних апаратів передавалась у спеціальні збірники і вивозилась споживачам. При цьому технологія гідротранспорту додавала некорисні компоненти до суміші з проявами втрат і екологічних порушень. Разом з тим сушіння дробини після фільтрації визначається економічно доцільною складовою в загальній технології з високим попитом на таку продукцію з одночасним вирішенням завдання утилізації потенціалів вторинної пари, генерованої за варіння сусла. Важливо, що ці два процеси реалізуються як синхронні у часі і за термодинамічними показниками [5]. Окрім того, остання пропозиція стосується можливості обійтись без сушильної камери, оскільки пропонується цю роль покласти безпосередньо на фільтраційний апарат, що відображується формулою патенту України 98892: варильний агрегат для пива, що складається із заторного апарата, вакуумної камери, фільтраційного та сусловарильного апаратів, з'єднаних між собою системою трубопроводів, який відрізняється тим, що паровий об'єм сусловарильного апарата з'єднано з калорифером-нагрівачем системи подавання повітря в підситовий простір фільтраційного апарату.

В описі роботи варильного апарата відмічається, що подрібнений солод та вода надходять у заторний апарат 1 (рис. 6), в якому за температур 50...80°C здійснюється завершальний етап оцукрювання крохмалю та утворюється заторна маса. Подавання заторної маси у вакуумну камеру 5 супроводжується адіабатним кипінням з руйнуванням її міжклітинних і клітинних структур. Через шлюзовий затвор вакуумної камери заторна маса потрапляє у фільтраційний апарат 2, у якому здійснюється фільтрація мутного сусла, а прозоре сусло стікає у сусловарильний апарат 4. Кип'ятіння сусла з хмелем в останньому супроводжується утворення вторинної пари, яка подається в калорифер-нагрівач 7 разом з повітряним потоком за рахунок роботи повітрорудної машини 6. У результаті взаємодії цих матеріально-енергетичних потоків вторинна пара конденсується, а нагріте повітря повітровою 8 подається у підситовий простір фільтраційного апарата,

рівномірно розподіляючись по його перерізу. Взаємодія гарячого повітря з дробиною приводить до її висушування, після чого остання вивантажується з фільтраційного апарата з використанням механічної мішалки, передбаченої в конструкції фільтраційного апарата.

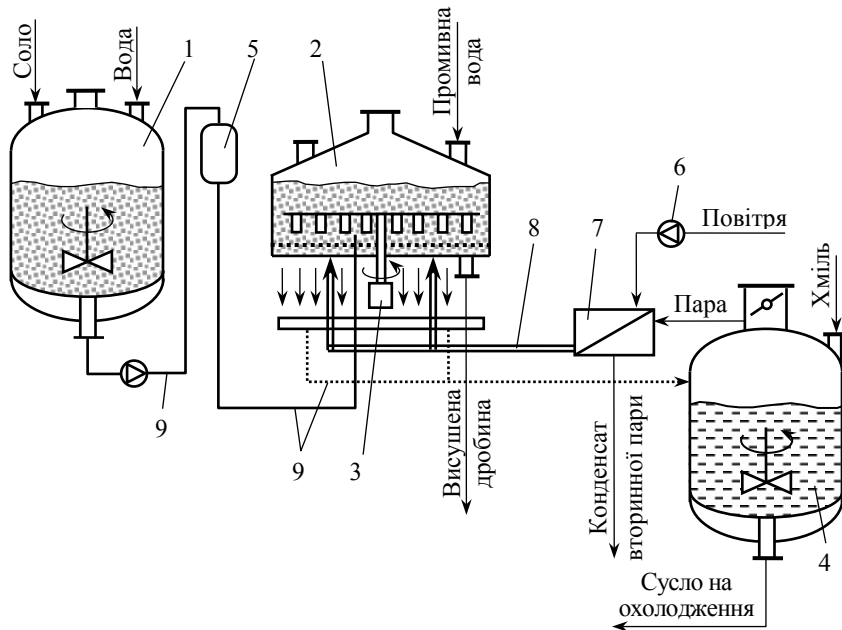


Рис. 6. Схема варильного агрегату для пива (патент України 98892)

Ідея використання фільтраційного апарата для сушіння дробини стосується можливості рекуперації енергетичного потенціалу звареного сусла. В сучасних технологіях операції охолодження й освітлення останнього суміщені в одну, що має подвійний недолік. По-перше, мають місце втрати теплової енергії близько 350...400 тис. кДж/м³ охолоджуваного сусла, і, по-друге, витрати, пов'язані з енергетичним і матеріальним забезпеченням роботи холодильних установок. Разом з тим відсутність технологічних заборон порушує питання відокремлення операцій охолодження й освітлення сусла. У зв'язку з цим пропонується до використання патент України 61422 «Система підготовки пивного сусла і сушіння дробини» [10] з такою формулою винаходу: «Система підготовки пивного сусла і сушіння дробини, що складається із заторного, фільтраційного та суслотварильного апаратів, яка відрізняється тим, що вона доповнена теплообмінним апаратом, калорифером і двома збірниками проміжного теплоносія, встановленими між фільтраційним та суслотварильним апаратами» (рис. 7).

Робота цієї системи відповідає такому алгоритму: із заторного апарата 1 приготуванa заторна маса подається в фільтраційний апарат 2, в якому відбувається відокремлення сусла від дробини і подальша передача його у суслотварильний апарат 3 для проведення операції охмеління сусла кип'ятінням його з хмелем.

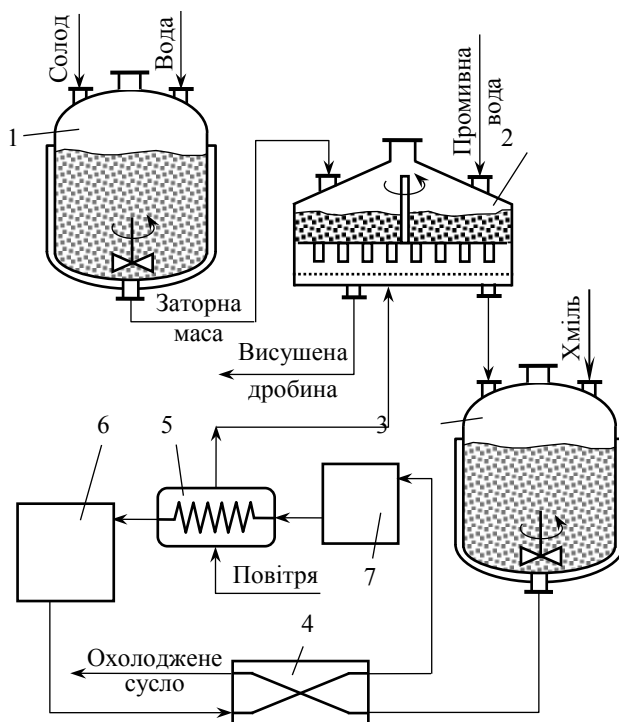


Рис. 7. Схема системи підготовки пивного сусла і сушіння дробини (патент України 61422)

Після закінчення операції охмеління, сусло з температурою близько 100°C подається на теплообмінний апарат 4, де віддає свій енергетичний потенціал проміжному теплоносію, який надходить зі збірника 6. При цьому охолоджене сусло подається на подальші технологічні операції, а гарячий проміжний теплоносій в збірник проміжного теплоносія 7. За проведення операції сушіння дробини гарячий проміжний теплоносій із збірника проміжного теплоносія надходить на калорифер 5, в якому він віддає свій енергетичний потенціал повітря, охолоджується та потрапляє в збірник проміжного теплоносія 6, а нагріте в калорифері 5 повітря подається в нижню частину фільтраційного апарату 2 і проходячи через шар дробини висушує її.

Перевагою системи можна вважати зустрічні потоки сусла і охолоджувальної води, завдяки яким різниця їхніх температур суттєво обмежена у всіх зонах контактування і кінцева температура холодного теплоносія може бути вищою за кінцеву температуру гарячого. Це означає перспективу повторного використання потенціалу проміжного теплоносія. Важливо, що процеси охолодження сусла і нагрівання повітря в калорифері 5 можуть бути організовані як синхронні та паралельні в часі і за значеннями енергетичних потенціалів. Завдяки цьому можна значно обмежити об'єми збірників 6 і 7 проміжного теплоносія з виконанням лише однієї операції освітлення пива у відстійному апараті для відокремлення білкових осадів [7]. Додатковим позитивом при цьому має стати відсутність

4...5 кратних об'ємів охолоджуючої води на здійснення процесу в традиційних технологіях. Використання холодильних установок в таких випадках витрати охолоджуючої води обмежує 1,5...2 об'ємами суслу на додаток до загальних витрат в системі охолодження на рівнях холодопродуктивності 50...100 кВт з розрахунку на кожний м³ середовища за умови здійснення цього процесу за одну-дві години. Вибір співвідношення між холодопродуктивністю і часом здійснення процесу є однією з логістичних внутрішніх задач тепер вже за межами варильної системи.

Оцінюючи сукупність технологічних процесів варильних відділень пивзаводів, слід звернути увагу на матеріальні потоки з їхніми неперервними послідовними трансформаціями під дією механічних, гідромеханічних, енергетичних та інформаційних впливів. Перебіг названих взаємодій відбувається у формі послідовних операцій на користь вимог технологій і така послідовність ускладнює можливість використання їхніх вторинних енергоматеріальних ресурсів. У зв'язку з цим можливо назвати практично лише один процес рекуперації енергетичного потенціалу вторинної пари в загальній технології варильних відділень на рівнях використання систем з механічною і термокомпресією випарів.

Висновки

1. Утилізація енергетичних ресурсів вторинної пари, генерування якої відбувається в суслотварильних апаратах, стосується використання теплоти конденсації за рахунок безпосереднього здійснення цього процесу і передавання енергетичного потенціалу іншому матеріальному носію або з попереднім доповненням в рамках термодинамічних параметрів для підвищення тиску і температури конденсації. У першому випадку з'являються можливості вказаної утилізації в паралельних процесах нагрівання, сушіння середовищ за температур конденсації, наближених до 100°C.

2. Енергетична трансформація вторинної пари механічним стисканням або термокомпресією надає можливість за рахунок таких компенсаційних процесів здійснити оборотний процес конденсації для забезпечення подальшого генерування вторинної пари. Енергетичні втрати в такому режимі пов'язані з теплою конденсату.

3. Енергетичний потенціал суміші вторинної і первинної пари, утворюваної в термокомпресорі, приблизно на 30% перевищує потреби з генерування вторинної пари. Використання цього надлишку можливе для здійснення сушіння дробини в паралельному процесі у фільтраційному апараті.

4. Енергетичний потенціал охолоджуючого суслу еквівалентний енерговитратам на сушіння дробини. Ця перевага доповнюється обмеженням енергетичних і матеріальних витрат на його охолодження в традиційних системах.

Література

1. Z. Y. Xu, R. Z. Wang, ChunYang (2019), Perspectives for low-temperature waste heat recovery, *Energy*, Vol. 176, pp. 1037—1043, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.04.001>.
2. Feng Huang, Jie Zheng, J. M. Baleynaud, Jun Lu (2017), Heat recovery potentials and technologies in industrial zones, *Journal of the Energy Institute*, Vol. 90, Is. 6, pp. 951—961, DOI: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1743967115304487>.

3. Hongsheng Zhang, Hongbin Zhao, Zhenlin Li (2019), Waste heat recovery and water-saving modification for a water-cooled gas-steam combined cycle cogeneration system with absorption heat pump, *Energy Conversion and Management*, Vol. 180, pp. 1129—1138, DOI: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890418313013>.

4. Chenghu Zhang, Jiyu Lin, Yufei Tan (2019), A theoretical study on a novel combined organic Rankine cycle and ejector heat pump, *Energy*, Vol. 176, pp. 81—90, DOI: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544219306103>.

5. Патент 98892 UA, МПК C12C 7/165 (2006.01), C12C 13/00 Варильний агрегат для пива / Соколенко А. І., Піддубний В. А.; заявник та патентовласник Національний університет харчових технологій. № a201104854; заявл. 19.04.2011; опубл. 25.06.2012, Бюл. № 12, 2012 р.

6. Інтенсифікація тепло- масообмінних процесів в харчових технологіях / Соколенко А. І., Мазаракі А. А., Шевченко О. Ю. та ін. Київ: Фенікс, 2011. 536 с.

7. Кунце В. Технология солода и пива. Пер. с нем. С.-Петербург: Профессия, 2001. 912 с.

8. Домарецький В. А. Технология солоду та пива: підруч. для студентів вищ. закл. освіти, що навчаються за спец. «Технологія бродил. вир-в і виноробства». Київ: Урожай, 1999. 544 с.

9. Буляндра О. Ф. Збірник задач з технічної термодинаміки. Київ: НУХТ, 2015. 394 с. Патент 61422 UA, МПК C12C 13/00 Схема системи підготовки пивного суслу і сушіння дробини / Соколенко А. І., Шевченко О. Ю., Піддубний В. А., Максименко І. Ф., Шевченко А. О., Бойко О. О.; заявник та патентовласник Національний університет харчових технологій. № u201013171; заявл. 05.11.2010; опубл. 25.07.2011, Бюл. № 14, 2011 р.

THE METHODS OF COOLING CAPACITY REGULATION OF STATIONS WITH RECIPROCATING COMPRESSORS

O. Riabchuk, M. Miroshnyk, V. Boiko, R. Gryshchenko

National University of Food Technologies

V. Pavlichenko

LTD "BMSERVICE"

Key words:

*Reciprocating compressor
Refrigeration station
Cooling capacity
regulation*

Article history:

Received 08.07.2020

Received in revised form
23.07.2020

Accepted 07.08.2020

Corresponding author:

O. Riabchuk

E-mail:

elektrik-ugpp@ukr.net

ABSTRACT

The theoretical and practical results of comparison the various methods of cooling capacity regulation of stations with reciprocating compressors are presented in the article.

The aim of this work was to compare the methods of cooling productivity regulation of existing stations with reciprocating compressors and determination of optimal regulation method that can be recommended for the refrigerating stations project designing.

Data for comparison the regulation methods were obtained at operating refrigerating stations of foodstuff hypermarkets during the last 2 years of their work.

The electricity meters were installed in the power cabinets of the refrigerating stations that made it possible to obtain indications of electricity consumption and to compare them for similar periods of time.

Data of the refrigerating stations' operation was recorded remotely using the monitoring system Carel by Boss company production.

This equipment was installed at three sites: — with stepwise regulation of the central channel operation; — with frequency converters installed on the main compressors of the central channels and replacement of condensers' AC-fans by EC fans; — with IQ-modules and CRII installed on the central channel's compressors and replacement of condensers' AC-fans by EC-fans.

During the observations, it was found out that stepwise regulation affects negatively the energy consumption of the aggregate as a whole, significant pressure surges occur with respect to set by the controller; the implementation of two more modern methods of reciprocating compressors refrigerating capacity regulation and controlling the speed of condenser fans rotation ensured a smooth equipment operation and smaller deviations relative to the parameters set by the controller.

That is the implementation of these regulatory methods affected positively the operation of refrigeration aggregates.

An analysis of obtained data as well as other authors' data allowed to determine the optimal method for regulating the cooling capacity of reciprocating compressors. The represented results can be used for designing of refrigeration stations.

СПОСОБИ РЕГУЛЮВАННЯ ХОЛОДОПРОДУКТИВНОСТІ СТАНЦІЙ З ПОРШНЕВИМИ КОМПРЕСОРАМИ

О. М. Рябчук, М. М. Мирошник, В. О. Бойко, Р. В. Грищенко

Національний університет харчових технологій

В. А. Павліченко

ТОВ «БМСЕРВІС»

У статті наведено теоретичні та практичні результати порівняння різних способів регулювання холодопродуктивності станцій з поршневыми компресорами та визначено оптимальний спосіб регулювання, який можна рекомендувати для проектування холодильних станцій.

Дані для порівняння методів регулювання отримані на працюючих холодильних станціях продуктових гіпермаркетів протягом двох років їх роботи. В силових щитах холодильних станцій були встановлені лічильники електроенергії, що дало змогу отримати покази споживання електроенергії та порівняти їх за аналогічні проміжки часу.

Дані роботи холодильних станцій знімалися віддалено з допомогою системи моніторингу Boss від компанії Carel. Обладнання було встановлено на трьох об'єктах: із ступінчастим регулюванням роботи централі; з установленими частотними перетворювачами на ведучі компресори централей та заміною АС-вентиляторів конденсаторів на ЕС-вентилятори; з установленими ІQ-модулями та СRII на ведучі компресори централей із заміною АС-вентиляторів конденсаторів на ЕС-вентилятори.

У ході проведених спостережень було виявлено, що ступінчасте регулювання негативно впливає на енергоспоживання установки в цілому, відбуваються значні скачки тисків, якщо порівняти із заданими контролером. Реалізація двох більш сучасних методів регулювання холодопродуктивності поршневих компресорів і регулювання швидкості обертання вентиляторів конденсатора забезпечили плавну роботу обладнання та менші відхилення стосовно заданих контролером параметрів. Тобто реалізація запропонованих методів регулювання позитивно вплинула на роботу холодильних установок.

Аналіз отриманих даних, а також даних інших авторів дав змогу визначити оптимальний спосіб регулювання холодопродуктивності поршневих компресорів. Надані результати можна використовувати при проектуванні холодильних станцій.

Ключові слова: поршневий компресор, холодильна станція, способи регулювання холодопродуктивності.

Постановка проблеми. Системи холодопостачання проектуються на максимально можливі навантаження. При експлуатації обладнання працює в проміжних режимах. Для забезпечення відповідності між необхідною і робочою холодопродуктивністю станцій потрібно передбачати комплекс заходів для регулювання їхньої продуктивності.

Якщо холодильна станція має декілька компресорів, найпростішим способом регулювання є ступінчате вимикання компресорів. Однак головним недоліком такого підходу є виникнення значних коливань температури на стороні вторинного контура, що негативно впливає на ефективність системи, особливо при нетривалих робочих періодах; «просідання» напруги при частих запусках, підвищене енергоспоживання станції. Короткочасна робота обладнання з частими включеннями-виключеннями може викликати проблему з поверненням масла із системи. Для стабільної роботи обладнання ступінь зниження холодопродуктивності обмежений мінімальним робочим часом, який задається системою управління холодильної установки.

Сучасні холодильні станції проектуються з використанням систем регулювання холодопродуктивності. Для порівняння методів регулювання можна використовувати такі показники: точність регулювання; холодильний коефіцієнт, тобто ефективність системи; вартість системи; експлуатаційна надійність [1].

Мета дослідження: порівняти способи регулювання холодопродуктивності станцій з поршневыми компресорами та визначити оптимальний спосіб регулювання, який можна рекомендувати для проектування холодильних станцій.

Матеріали і методи. Експериментальні дані для порівняння методів регулювання отримані на працюючих холодильних станціях продуктової гіпермаркетів протягом двох років роботи. Ці об'єкти були вибрані з огляду на те, що робота холодильного обладнання на таких об'єктах триває цілий рік. Опис обладнання наведено в табл. 1 і 2.

У силових щитах холодильних станцій були встановлені лічильники електроенергії, що дали змогу отримати покази споживання електроенергії та порівняти їх за аналогічні часові періоди.

Теоретичні матеріали зібрані з профільних публікацій заводів-виробників обладнання.

Таблиця 1. Холодильні станції і конденсатори, де встановлені частотні перетворювачі та ЕС-вентилятори

Поз.	Модель обладнання (компресор/конденсатор)	Номинальна потужність одиниці обладнання, кВт	Кількість одиниць у складі холодильної станції/конденсатора, шт	Кількість регульованих одиниць обладнання, шт	Сумарна встановлена потужність обладнання, кВт
ХМ1	D6DJ4-400X	47	5	1	235
ХМ2	D4DT4-220X	22,5	4	1	90
ХМ3	4NES-20Y-40P	19	3	1	57
ХМ4	ZB75KCE-TWD-551	12	3	1	36
КД 3	GVHX071.1A/3-MD.E	2,59	3	3	7,77
КД 4	GVH067C/3	4,48	3	3	13,44

Таблиця 2. Холодильні станції і конденсатори, де встановлені ІQ-модулі та ЕС-вентилятори

Поз.	Модель обладнання (компресор/ конденсатор)	Номінальна потужність одиниці обладнання, кВт	Кількість одиниць у складі холодильної станції/ конденсатора, шт	Кількість регульованих одиниць обладнання, шт	Сумарна встановлена потужність обладнання, кВт
ХМ1	4J-22.2Y-40P	21,5	1	1	21,5
ХМ2	4H15.2Y	19,3	2	1	38,6
ХМ3	4H15.2Y	19,3	5	1	96,5
ХМ4	4H15.2Y	19,3	3	1	57,9
КД 1-3	GVH 080.3A/ 2x4-N(D).E	2,59	6	4	15,54
КД 4	GCHC RD 050.3/ 13-51-0003872M	4,48	3	3	13,44

Результати і обговорення. *Методи регулювання холодопродуктивності поршневих компресорів.* Найпростішим методом регулювання є метод періодичних пусків і зупинок компресорів холодильної станції, але його можна використовувати при умовно постійному навантаженні, де ці запуски та зупинки будуть не частими і за умови достатньої кількості компресорів у складі станції, або системами з високою акумулюючою здатністю.

Значно кращі методи регулювання також супроводжуються великими змінами навантаження (паралельна робота декількох компресорів, тандем компресорів або поділ системи на кілька незалежних контурів). Однак подібні рішення також не виключають значного числа циклів регулювання (або при дуже високих вимогах до точності регулювання, або при дуже швидкій зміні необхідної холодопродуктивності). У таких випадках необхідне поєднання з механічним регулюванням холодопродуктивності компресора (ступінчастим або плавним) відповідної системи управління.

До механічного регулювання їх холодопродуктивності (вбудовані регулятори) можливі різні підходи, які можуть докорінно відрізнятися залежно від типу компресора.

Для поршневих компресорів передбачені такі варіанти: віджимання всмоктуючих клапанів; внутрішній перепуск пари; зміна мертвого об'єму циліндра; скорочення ходу стиснення; блокування всмоктуючих каналів окремих циліндрів або груп циліндрів; зміна частоти обертання [1].

Критерії вибору способу регулювання холодопродуктивності. Залежно від конкретної холодильної системи вимоги до регулювання можуть істотно відрізнятися, причому слід ретельно розглянути такі критерії: характеристика регулювання (грубе або точне, ступеневе або плавне); енергоспоживання (холодильний коефіцієнт); вартість обраного рішення; експлуатаційна надійність; область застосування компресора; мінімальний час роботи компресора; навантаження електромережі.

Відомо, що повне енергоспоживання холодильної установки, системи кондиціонування повітря або теплового насоса протягом терміну служби є значною

статтею витрат, найчастіше багаторазово перевищує початкові капіталовкладення. Як наслідок і з урахуванням непрямого впливу на навколишнє середовище (викиди CO₂ при виробленні електроенергії) оптимальне регулювання холодопродуктивності має бути направлено на точну відповідність потреби в холоді. Залежно від акумулюючої здатності системи і змін навантаження методи, засновані на ступінчастому регулюванні, можуть бути достатніми, але із суто енергетичних міркувань плавне регулювання є найбільш прийнятним.

У стаціонарних умовах роботи при різних навантаженнях істотні відмінності між ступінчастим і плавним регулюванням не завжди можна помітити з першого погляду. Але порівняльні дослідження показали, що динамічні властивості і кінцева ефективність системи істотно залежать від способу регулювання. При грубому ступінчастому регулюванні зниження холодопродуктивності викликає значне падіння температури конденсації, що веде до часткового випаровування холодоагенту при все ще високому рівні температури. Наслідки включають збої в регулюванні надходження холодоагенту у випарник, а також негативно відбиваються на холодопродуктивності й ефективності. Так само різке підвищення холодопродуктивності призводить до різких коливань у ланцюзі регулювання, включаючи значне зниження температури кипіння, часто супроводжується недостатнім перегрівом всмоктуваного газу. Як правило, з плином часу це призводить до значних відхилень від оптимальних робочих умов.

Однак обмеження, що стосуються часткових навантажень, поширюються навіть на системи з дуже хорошими характеристиками регулювання. Наприклад, оптимальне надходження холодоагенту у випарник з безпосереднім кипінням не гарантоване при низьких масових витратах. У таких випадках нижче певного навантаження необхідно, щоб система періодично працювала з мінімальною холодопродуктивністю (через робочі характеристики розширювального вентиля і для забезпечення надійної подачі масла). Більше того, ефективне регулювання при частковому навантаженні також вимагає контрольованого зниження тиску конденсації і збільшення тиску всмоктування. Крім того, енергоспоживання допоміжних приводів (вентилятори, насоси) має бути точно визначено, а значить, для цих елементів також буде потрібна ефективна система регулювання [1].

Поршневі компресори з механічним регулюванням холодопродуктивності. Для такого типу компресорів насамперед використовуються методи «розвантаження циліндра», що вимагають відносно низьких витрат і прийнятні для багатоциліндрових компресорів. Досяжна градація холодопродуктивності залежить від конструкції компресора. У разі 4-, 6- і 8-циліндрових компресорів, зазвичай, відключають два циліндри на кожному ступені навантаження, що дає змогу регулювати холодопродуктивність з інтервалами (25)—50—(75)—100% або 33—66—100%. У комбінації з тандем-компресорами або з паралельною роботою компресорів можлива навіть більш тонка градація.

Для великих промислових компресорів застосовуються системи віджиму всмоктуючих клапанів (кільцеві клапани) з використанням гідравлічного масляного приводу. Газ, що всмоктується відповідними циліндрами, при нагнітанні надходить на сторону всмоктування. При цьому циліндр працює практично на

холостому ходу. Такий метод регулювання може також застосовуватися для розвантаженого пуску компресора. Метод високоефективний, втрати енергії виникають лише внаслідок механічної роботи тертя кілець й опору у всмоктуючому клапані.

Для напівгерметичних компресорів часто використовувалися рішення із застосуванням вбудованого перепускного контуру. При цьому між порожнинами високого і низького тиску циліндрів, які необхідно розвантажити, в перепускному каналі встановлюється регулюючий клапан (байпас), що перериває потік газу. Додатковий зворотний клапан на боці високого тиску запобігає протитечії вже стисненого газу. Таке конструктивне рішення просте але недостатньо ефективно через значні втрати при роботі байпасу. До того ж термічна напруга компресора при часткових навантаженнях дуже висока, що значною мірою обмежує діапазон застосування методу.

Іншим варіантом регулювання є зміна мертвого об'єму циліндра. Головка циліндра оснащена додатковою камерою високого тиску, яка за допомогою керуваного клапана може бути з'єднана з циліндром, що збільшує його мертвий об'єм. У процесі стиснення частина газу відводиться в ту ж камеру, звідки він повертається в циліндр під високим тиском при зворотному ході поршня. Це дає змогу значно зменшити об'єм циліндра при нормальній роботі компресора. Така система застосовується на компресорах з числом циліндрів менше чотирьох. Однак високі втрати при зворотному розширенні призводять до істотного падіння ефективності при частковому навантаженні. Більш того, діапазон регулювання істотно залежить від ставлення тисків. Так, при невеликих відносинах тисків можливо лише незначне зменшення холодопродуктивності.

Для герметичних компресорів також використовується інше рішення — механічно змінюваний хід поршня (скорочення ходу стиснення).

Найбільш поширеним методом механічного регулювання холодопродуктивності компресорів для комерційного холоду є метод відключення циліндрів шляхом блокування всмоктуючих каналів окремих циліндрів або груп циліндрів. Ця концепція була розроблена BITZER у 70-і роки ХХ ст. і завдяки постійному вдосконаленню досягла неперевершеного рівня.

У режимі повного навантаження працюють усі циліндри компресора; соленоїдний клапан відключений. Як наслідок, усі газові канали в клапанній дошці і голові циліндра, а також поршень відкриті.

При роботі в режимі часткового навантаження включається соленоїдний клапан, його якір піднімається. В результаті регульований поршень виявляється під дією високого тиску, рухається вниз і закриває загальний впускний канал у клапанній дошці. Надходження газу припиняється, і відповідні поршні працюють у режимі «холостого ходу». Цей метод регулювання надзвичайно ефективний, оскільки втрати обмежуються лише механічним тертям поршнів. У широкому робочому діапазоні енергоспоживання електродвигуна при частковому навантаженні зменшується майже пропорційно зниженню холодопродуктивності.

Завдяки відносній простоті і надійності конструкції число циклів регулювання може бути відносно великим, що забезпечує його високу точність. Через високу

ефективність компресори з такою системою регулювання можуть використовуватися в широкому діапазоні [1].

Паралельна робота компресорів в одному холодильному контурі. Класичне паралельне з'єднання включає одночасну роботу декількох компресорів на загальний контур циркуляції. Необхідна холодо- або теплопродуктивність розподіляється по компресорам, причому можливо їх об'єднання як за однаковими, так і за різними потужностями. За допомогою інтелектуальної стратегії управління можна забезпечити високий рівень регулювання холодопродуктивності системи. До типових прикладів систем з паралельно працюючими компресорами відносяться системи холодопостачання супермаркетів, в яких необхідне навантаження може змінюватися в широкому діапазоні. Устаткування компресорів механічними (вбудованими) системами регулювання холодопродуктивності залежно від потреби в холоді, а також частоти циклів або значних змін робочих умов можливе або навіть необхідне.

Зміна частоти обертання є ще однією можливістю регулювання, яка може використовуватися, наприклад, тільки на одному з компресорів, забезпечуючи безперервний контроль навантаження, так само, як і вирівнювання змін, спричинених включенням/виключенням окремих компресорів.

Загалом, усі конструкції компресорів добре працюють при паралельному підключенні, причому вимоги до розподілу мастила між окремими компресорами можуть істотно відрізнитися (зокрема, при з'єднанні компресорів різних потужностей). Ґрунтуючись на проведених випробуваннях, BITZER розробив для кожного типу компресорів рішення, що характеризуються простотою і високою експлуатаційною надійністю.

Альтернативним рішенням у регулюванні холодопродуктивності є застосування поршневих тандем-компресорів. У цьому разі вирівнювання рівня мастила забезпечується конструктивно, тому додаткові заходи, зазвичай, не потрібні. BITZER пропонує широку гаму тандем-компресорів для малих описаних обсягів (починаючи з 2—11,4 м³/год). Навіть невеликі 4-циліндрові моделі Octagon® (починаючи з 2—18 м³/год) забезпечують можливість установки регулятора для відключення циліндра, за допомогою якого можливо здійснити ступеневу зміну холодопродуктивності: 25—50—75—100% [1].

Зміна частоти обертання вала компресора. Цей метод регулювання холодопродуктивності вже протягом багатьох років застосовується в компресорах об'ємного типу, причому в основному у відкритих компресорах, що приводяться через передачу із змінним передавальним числом, або в компресорах, оснащених спеціальними двигунами зі швидкісною модуляцією. Однак такі концепції приводу були здебільшого винятком і використовувалися лише у випадках, коли класичне регулювання холодопродуктивності було неможливим або існували спеціальні вимоги.

Лише після появи перетворювачів частоти (частотних перетворювачів), щоб регулювати швидкість асинхронних двигунів, цей метод стали широко використовувати в різних галузях[1].

Регулювання зміною частоти обертання — метод, який може бути використаний в переважній більшості технологічних процесів. Його використання забезпечує такі переваги: плавний пуск — відсутні кидки струму, знижуються механічні зусилля; точне регулювання тиску — частота обертання компресора, а отже, подача, регулюється відповідно до споживання в мережі, в результаті зменшується амплітуда коливань тиску і зменшується необхідна ємність ресиверів; оптимальний ККД — робота без втрат тиску в мережі, що, відповідно, зменшує втрати енергії.

Регулювання зміною частоти обертання можливе при паралельній роботі компресорів [2].

Сучасні частотні перетворювачі оснащені багаторівневими ступенями захисту двигунів, що підключаються до них, завдяки чому вдається досягти максимального захисту двигуна компресора від перевантаження, стрибків напруги та інших факторів. Крім того, нові моделі частотних перетворювачів дають змогу виконувати плавний пуск компресорів, що збільшує їхній моторесурс.

Управляючий сигнал 0—10 В або 4—20 мА надходить від контролера холодильної установки на частотний перетворювач. Причому регулювання продуктивності компресорів можливе від 20 до 110%, якщо верхню межу дозволяє завод-виготовлювач. Ця особливість при незначному збільшенні навантаження дає змогу, не вмикаючи наступний компресор станції, збільшити продуктивність регульованого компресора більше за номінальне (заводське) значення.

Розвиток механічного регулювання продуктивності поршневих компресорів BITZER. Механічна система CR регулювання продуктивності поршневих компресорів BITZER була розроблена і почала застосовуватись ще з чотирьох та шести циліндровими компресорами серії BHS. Завдяки простій і надійній конструкції ця система чудово зарекомендувала себе як недороге і водночас досить ефективне рішення. Основним елементом системи був соленоїдний CR-клапан, який монтувався на пристосованій для цього кришці головки циліндрів. CR-клапан при подачі на нього електроживлення відкривав канал для газу високого тиску нагнітання, під дією якого переміщався внутрішній виконавчий поршень і закривав вікно всмоктування на клапанній дошці. Так пара циліндрів головки, на якій було встановлено такий клапан, виключалася з роботи нагнітання компресора, і його об'ємна продуктивність відповідно зменшувалася.

Поряд із незаперечними перевагами цієї системи, такі як простота, надійність і дешевизна, вона мала також і деякі недоліки. Регулювання продуктивності виходило виражено ступінчастим: 100—50%, або 100—66—33%. При переході на нижчий ступінь регулювання скорочувалася область допустимого застосування компресора, знижувалася максимальна допустима температура конденсації t_c при низьких температурах кипіння t_0 . Крім того, категорично не допускалася робота системи SIC одночасно з включенням клапана CR.

Нині для поршневих компресорів BITZER стала доступна нова опція — модернізована система механічного регулювання продуктивності CRII. Основним елементом нової системи CRII також є модернізований соленоїдний CR-клапан, конструкція якого схожа з конструкцій CR-клапана старої системи.

Працює новий CR клапан так само, як і старий. При подачі живлення на соленоїд відкривається перепускний канал, по якому газ високого тиску з порту нагнітання перетікає у внутрішній циліндр клапана. У ньому під дією газу нагнітання переміщається виконавчий поршень і закриває вікно всмоктування на клапанній дошці.

Новий CRII клапан має ще більш високу надійність, більший ресурс включень. Він пристосований для частого включення/вимикання, тобто для функціонування в пульсуючому режимі.

Нова система CRII увібрала в себе все позитивне, що було у CR: простоту конструкції, надійність, а також відносно низьку вартість. При цьому система CRII забезпечує глибину регулювання продуктивності поршневого компресора 1:10. Це значно більша глибина регулювання, ніж та, що досягалася за допомогою старої системи CR.

Крім того, нова система CRII дає змогу зробити регулювання продуктивності поршневого компресора квазіплавним (Quasi-stepless or Virtually stepless), тобто ніби безступінчатим. Забезпечується такий режим регулювання за рахунок наявної у CRII клапана можливості функціонувати тривалий час у пульсуючому режимі: тривалий час часто включатися і вимикатися з мінімальним періодом 10 с — 5 с — «включений», 5 с — «вимкнений».

Розглянемо специфічні особливості функціонування системи CRII на прикладі чотирьох-і шестициліндровий компресорів.

На відміну від старої системи CR, нова система передбачає установку CRII клапана на кожен головку циліндрів: два клапани на чотирициліндрові і три — на шестициліндрові компресори.

Як бачимо на прикладі чотирициліндрового компресора, що оснащується двома клапанами CRII, при необхідній його продуктивності 100% обидва клапана вимкнені. При необхідній продуктивності, що знаходиться в діапазоні 100%...50%, починає імпульсно включатися клапан CRII (1). А при необхідній продуктивності компресора, що знаходиться в діапазоні 50%...10%, включається постійно клапан CRII (2) і починає імпульсно включатися клапан CRII (1).

В аналогічному алгоритмі задіюються і клапани CRII на шестициліндровому компресорі. При необхідній його продуктивності 100% всі три клапани вимкнені. При необхідній продуктивності компресора, що знаходиться в діапазоні 100%...66%, починає імпульсно включатися клапан CRII (1). При необхідній продуктивності, що знаходиться в діапазоні 66%...33%, клапан CRII (1) залишається вимкненим, включається постійно клапан CRII (3) і починає імпульсно включатися клапан CRII (2). А при необхідній продуктивності, що знаходиться в діапазоні 33%...10%, включаються постійно клапани CRII (1) і CRII (2) і починає імпульсно включатися клапан CRII (3).

Системою CRII оснащуються і восьмициліндрові компресори BITZER. Вони можуть бути оснащені тільки двома клапанами CRII (1) і CRII (2), що встановлюються на протилежні одна одній бічні головки циліндрів. З їхньою допомогою забезпечується можливість квазіплавного регулювання продуктивності в діапазоні 100%...50%.

Очевидно, що всі клапана CRII, незалежно від того, в якому режимі включення — пульсуючому або тривалому дискретно вони функціонують, ідентичні за конструкцією. У зв'язку з цим для забезпечення рівномірного витрачання їх ресурсу доцільно налаштувати систему управління таким чином, щоб через певні періоди роботи компресора вони змінювала режим включення клапанів CRII.

Частота включень і тривалість фаз циклу «включення/вимикання» для клапана, що працює в пульсуючому режимі, визначається поточному значенням необхідної продуктивності компресора.

З міркування надійності і довговічності як клапана CRII, так і двигуна компресора визначено мінімальний час включення клапана — 5 с і мінімальний час вимикання — 5 с.

Поточне значення продуктивності компресора при такій системі регулювання визначається як інтегральне значення, яке визначається співвідношенням часу включення і часу виключення працюючого в пульсуючому режимі клапана CRII, а також часу включення і виключення клапанів, які працюють у дискретному режимі за певний період роботи компресора. Чим ближче до заданого контролером значення підходить поточна величина відслідковуваного параметра, тим менша потрібна продуктивність компресора, і включення його пульсуючого клапана CRII відбувається на більш тривалий проміжок часу. Після того, як компресор пропрацює з усіма включеними CRII клапанами, тобто з нульовою продуктивністю, 2 хв відбувається його виключення. При цьому кількість включень і виключень двигуна компресора на годину буде залишатися в допустимій кількості, що забезпечує безпечний режим його роботи. Більш того, такий алгоритм регулювання дає змогу оперативно коригувати раптові або різкі пікові зміни робочих параметрів роботи установки.

Компанія Carel виготовляє контролери CAREL pR300 для управління клапанами-регуляторами продуктивності CRII [3]. Проте при тестуванні контролерів було виявлено, що в них не передбачено ротації CRII клапанів, що є суттєвим недоліком алгоритму роботи цих контролерів і може призвести до виходу з ладу компресора.

CM-RC-01. Інтелектуальний модуль. Починаючи з 2015 р., поршневі компресори BITZER стали опційно оснащуватися інтелектуальними модулями захисту й управління CM-RC-01.

За зовнішньою скромністю цього пристрою ховається його могутній функціонал. Смарт-пристрій CM-RC-01 здатний не тільки захистити компресор у нестандартній ситуації, а й керувати ним, фактично виконуючи функції електронного контролера холодильної установки.

Нині інноваційними пристроями CM-RC-01 поршневі компресори BITZER оснащуються тільки на заводах-виробниках BITZER GmbH. Ці пристрої встановлюються в клемні коробки компресорів і підключаються до датчиків температур і тисків, електромоторам і зовнішньої автоматиці компресорів. На заводах зібрані системи перевіряються і налаштовуються на спеціальних стендах.

У модуля CM-RC-01 є роз'єм для підключення зовнішнього запобіжного пресостата високого тиску. Таке підключення забезпечує економію на довжині кабелів і на компонентах щита управління, а також спрощення електричної схеми.

Модуль оснащений додатковим датчиком температури NTC, інформація з якого зберігається в журналі даних, і не впливає на систему управління й моніторингу. Установка датчика на лінію всмоктування компресора дасть змогу отримувати значення перегріву всмоктуваних парів онлайн при підключенні BEST Software або Modbus або при подальшому аналізі журналу даних.

Можливе опційне встановлення датчиків-трансмiтерів високого і низького тиску. У разі застосування трансмітера низького тиску відпадає необхідність у застосуванні пресостата низького тиску. Захисні функції модуля CM-RC-01 зводяться не тільки до контролю критичних значень параметрів стану компресорів, він також контролює знаходження робочої точки (t_o/t_c) в межах області допустимого застосування. Крім функції захисту, модуль CM-RC-01 має функції управління. За допомогою вбудованого мікропроцесора модуль вмикає і вимикає такі периферійні елементи компресора:

- до трьох котушок соленоїдних клапанів регулювання продуктивності CRP — інтегральне рішення, що дає змогу адаптувати продуктивність компресора до поточного навантаження подібно частотному перетворювачу. Управляючий сигнал 0—10 В або 4—20 мА надходить від контролера холодильної установки на модуль через Modbus;

- підігрів масла в картері відключається після зупинки компресора;

- модуль управління запускає вентилятор обдуву за температурою з датчика PT1000 на нагнітанні;

- котушки магнітних пускачів компресорів, що запускаються за схемою «зірка»/«трикутник»;

- котушку соленоїда передпускової розгужки SU;

- котушку імпульсного соленоїда СІС модернізованої системи рідинного вприскування для роботи на R407A і R407F;

- регулятор рівня масла в картері, що включає в себе датчик рівня OLC-D1.

Модуль також проводить комплексну діагностику роботи компресора, завдяки чому при його встановленні завод збільшує гарантію на обладнання.

Модуль має власну пам'ять, в якій зберігаються 19 важливих робочих параметрів компресора, що записувались протягом останніх двох тижнів його роботи: мотогодини роботи; кількість пусків; робочі умови — температура та тиск; статистика навантаження компресора; критичні попередження про порушення роботи — перевантаження двигуна, подачі масла, температура парів, що нагнітаються, перевищення тиску конденсації, вихід з робочої області тощо.

Інноваційний захисно-діагностичний смарт-модуль CM-RC-01 передбачає можливість комунікації з усіма структурами вищого порядку, що беруть участь в управлінні роботою компресора, в який цей модуль встановлений.

Для проведення сервісних заходів і аналізу режимів роботи компресорів безпосередньо на місці установки холодильного агрегату фахівці сервісної служби можуть переглянути зміст журналу даних DataLog, підключивши свій ноутбук або планшет з відкритою на ньому програмою BEST software безпосередньо до модуля CM-RC-01 або через BEST адаптер [4].

Аналіз проведених досліджень. Дані роботи холодильних станцій упродовж двох років знімалися віддалено з допомогою системи моніторингу Boss від компанії Carel.

З наведених графіків (рис. 1, 2) видно, що при наявності лише ступінчатого регулювання роботи централі відбуваються значні скачки тисків порівняно із заданими контролером.

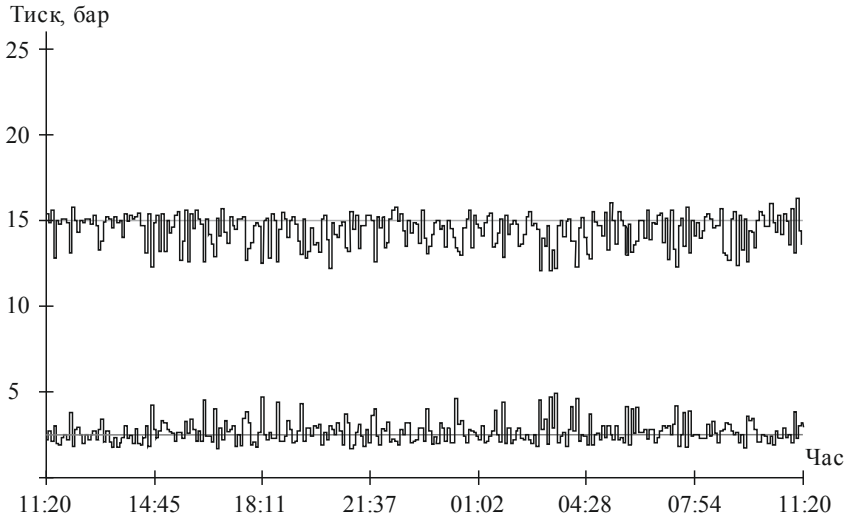


Рис. 1. Графік роботи холодильної станції (4 компресори) із ступінчатим регулюванням холодопродуктивності та конденсатора з АС-вентиляторами:
верхня крива — тиск кипіння; нижня крива — тиск конденсації;
прямі лінії — задані значення тиску кипіння та конденсації

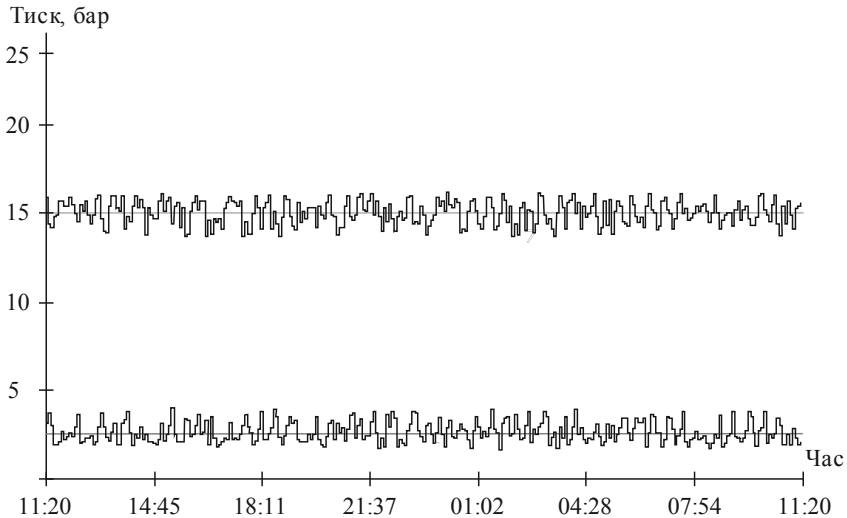


Рис. 2. Графік роботи холодильної станції (3 компресори) із ступінчатим регулюванням холодопродуктивності та конденсатора з АС-вентиляторами:
верхня крива — тиск кипіння; нижня крива — тиск конденсації;
прямі лінії — задані значення тиску кипіння та конденсації

Ступінчасте регулювання негативно впливає на енергоспоживання установки в цілому.

Для досягнення стабільної роботи холодильної установки були реалізовані два проекти: встановлені частотні перетворювачі на ведучі компресори централей із заміною АС-вентиляторів конденсаторів на ЕС-вентилятори. Також встановлені ІQ-модулі та СRПІ на ведучі компресори централей із заміною АС-вентиляторів конденсаторів на ЕС-вентилятори.

Як видно з графіків роботи централей (рис. 3, 4), реалізація цих методів регулювання холодопродуктивності поршневих компресорів та регулювання швидкості обертання вентиляторів конденсатора забезпечили більш плавну роботу обладнання та менші відхилення стосовно заданих контролером параметрів. Тобто реалізація цих методів регулювання позитивно вплинула на роботу холодильних установок.

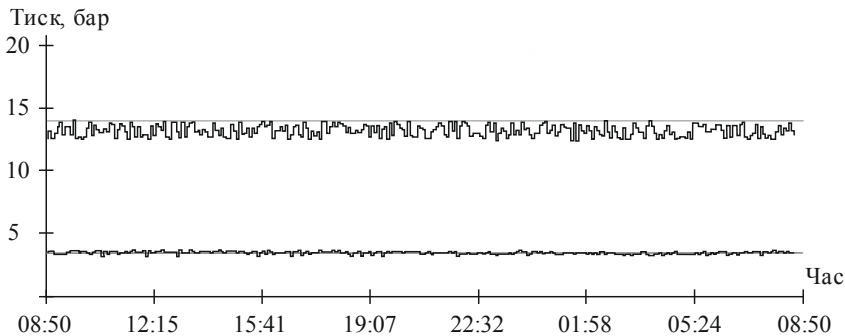


Рис. 3. Графік роботи холодильної станції з плавним регулюванням холодопродуктивності (встановлений частотний перетворювач) та конденсатора з ЕС-вентиляторами:

верхня крива — тиск кипіння; нижня крива — тиск конденсації;
прямі лінії — задані значення тиску кипіння та конденсації

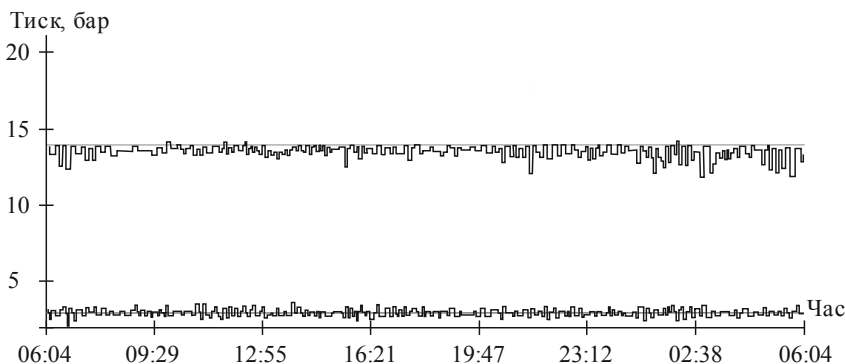


Рис. 4. Графік роботи холодильної станції з регулюванням холодопродуктивності за допомогою ІQ-модуля та конденсатора з ЕС-вентиляторами:

верхня крива — тиск кипіння; нижня крива — тиск конденсації;
прямі лінії — задані значення тиску кипіння та конденсації

У табл. 3, 4 і на рис. 4, 2 наведено споживання електроенергії холодильним обладнанням за два роки. Перший рік знімались покази на існуючому обладнанні, потім була проведена модернізація холодильних станцій з встановленням на одному об'єкті частотних перетворювачів на ведучі компресори станцій, а на іншому IQ-модулі (СМ-RC-01) та CRII також на ведучі компресори станцій. На обох об'єктах була проведена повна або часткова заміна АС вентилятори конденсаторів на ЕС.

Таблиця 3. Холодильні станції і конденсатори, де встановлені частотні перетворювачі та ЕС-вентилятори

Поз.	Модель обладнання (компресор/конденсатор)	Кількість одиниць у складі холодильної станції/конденсатора, шт	Кількість регульованих одиниць обладнання, шт	Сумарна спожита електроенергія за рік, до модернізації, кВт	Сумарна спожита електроенергія за рік, після модернізації, кВт
XM1	D6DJ4-400X	5	1	1909992	1626526
XM2	D4DT4-220X	4	1		
XM3	4NES--20Y-40P	3	1		
XM4	ZB75KCE-TWD-551	3	1		
КД 3	GVHX071.1A/3-MD.E	3	3		
КД 4	GVH067C/3	3	3		

Таблиця 4. Холодильні станції та конденсатори, де встановлені IQ-модулі та ЕС-вентилятори

Позн.	Модель обладнання (компресор/конденсатор)	Кількість одиниць у складі холодильної станції/конденсатора, шт	Кількість регульованих одиниць обладнання, шт	Сумарна спожита електроенергія за рік, до модернізації, кВт	Сумарна спожита електроенергія за рік, після модернізації, кВт
XM1	4J-22.2Y-40P	1	1	1041735	831730
XM2	4H15.2Y	2	1		
XM3	4H15.2Y	5	1		
XM4	4H15.2Y	3	1		
КД 1-3	GVH 080.3A/2x4-N(D).E	6	4		
КД 4	GCHC RD 050.3/13-51-0003872M	3	3		

Як видно з рис. 5 і 6, завдяки реалізації проектів вдалося досягти значної економії в споживанні електроенергії холодильних установок.

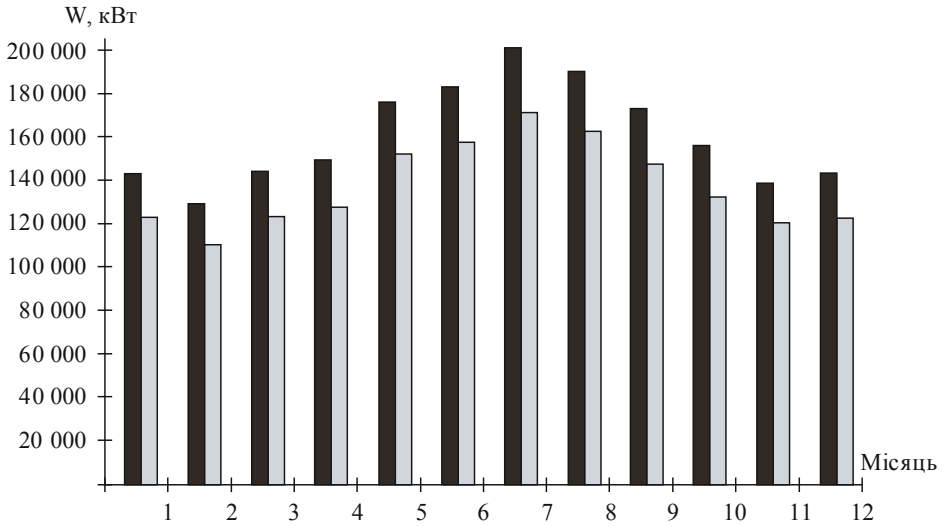


Рис. 5. Річний графік споживання електроенергії холодильних станцій і конденсаторів, де встановлені частотні перетворювачі та ЕС-вентилятори: чорний — кВт/місяць до модернізації; сірий — кВт/місяць після модернізації

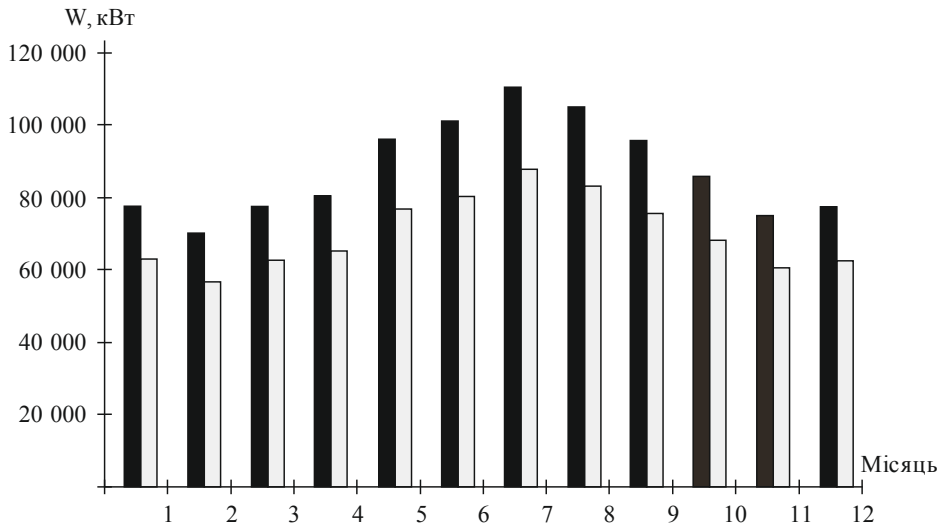


Рис. 6. Річний графік споживання електроенергії холодильних станцій і конденсаторів, де встановлені IQ-модулі перетворювачі та ЕС-вентилятори: чорний — кВт/місяць до модернізації; сірий — кВт/місяць після модернізації

У табл. 5 і 6 наведені техніко-економічні показники роботи холодильних станцій до та після модернізації.

Завдяки використанню сучасних методів регулювання холодопродуктивності поршневих компресорів досягається не лише інженерна мета — працювати, дотримуючись заданого навантаження з мінімальними відхиленнями, але й економічна та екологічна — економія коштів, природних ресурсів і зменшення впливу на навколишнє середовище.

Таблиця 5. Холодильні станції і конденсатори, де встановлені частотні перетворювачі та ЕС-вентилятори

Сумарна спожита електроенергія за рік, кВт	1626526
Сумарна економія електроенергії за рік, кВт	283466
Відсоток зменшення електроспоживання, кВт	14,8%
Вартість електроенергії, грн/кВт з ПДВ	2,15
Економія фінансів, грн/рік	609450,99
Сума капіталовкладень, грн з ПДВ	1651027,02
Період окупності, рік	2,71

Таблиця 6. Холодильні станції і конденсатори, де встановлені ІQ-модулі та ЕС-вентилятори

Сумарна спожита електроенергія за рік, кВт	831730
Сумарна економія електроенергії за рік, кВт	210005
Відсоток зменшення електроспоживання, кВт	20,2%
Вартість електроенергії, грн/кВт з ПДВ	2,15
Економія фінансів, грн/рік	451511,42
Сума капіталовкладень, грн з ПДВ	1351092,40
Період окупності, рік	2,99

Термін окупності проектів менше трьох років, що дає змогу рекомендувати впровадження таких технологій як в існуючі об'єкти, так і використання їх при проектуванні нових.

Висновки

1. Електронний модуль CM-RC-01 з підключеними до нього датчиками та CRII, що встановлені на компресорі, дають змогу збільшити його термін експлуатації, захистити від аварійних ситуацій, розширити межу плавного регулювання та записати параметри його роботи з можливістю віддаленого доступу.

2. Сервісне обслуговування компресорів значно спрощується і прискорюється. Більш того, воно може проводитися дистанційно. Модуль CM-RC-01 наочно демонструє поточний стан компресора як через інтерфейс програми BEST, так і сигналами свого світлодіодного індикатора. Завдяки збереженню в його пам'яті журналу даних DataLog пошук і усунення помилок прискорюється.

3. Використання CM-RC-01 модуля забезпечує ще більш високу надійність і ефективність всієї системи та зменшує енергозатрати холодильної установки.

4. При частотному регулюванні продуктивність компресора відповідає необхідному навантаженню. До переваг використання частотного перетворювача можна віднести: відсутність стрибків тиску, середні значення тиску кипіння і конденсації нижче, ніж при ступінчастому регулюванні; плавна зміна продуктивності при меншому числі компресорів в централі; повна відповідність необхідної продуктивності (як наслідок, економія споживаної двигуном компресора електроенергії); стабільний тиск всмоктування; збільшення ресурсу

компрессора (менше число пусків, плавний пуск, багатоступеневий рівень захисту двигуна); зменшення навантаження на електричну мережу (плавний пуск) [5].

Література

1. Сравнение способов регулирования холодопроизводительности компрессоров: Технические публикации Bitzer. URL: http://bitzer.ru/sravnenie_sposobov_regulirovaniya_holodoproizvoditelnosti_kompressorov.

2. Энергоэффективность: преимущества применения частотно-регулируемого привода в насосных, вентиляционных и компрессорных установках. *Технические публикации Schneider Electric*, 2009. Выпуск 27. URL: <http://www.netkom.by/docs/N27-Energoeffektivnost-s-primeneniem-PCh.pdf>.

3. CRII — Новая ступень в развитии механического регулирования производительности поршневых компрессоров Bitzer: Технические публикации Bitzer. URL: http://bitzer.ru/CRII_novaya_stupen_v_razvitiy_mehanicheskogo_regulirovaniya_proizvoditelnosti_porshnevih_kompressorov_bitzer.

4. CM-RC-01. Интеллектуальный модуль, мониторинга, защиты и управления поршневых компрессоров Битцер: Технические публикации Bitzer. URL: http://bitzer.ru/CM-RC-01_intellektualnii_modul_monitoringa_zashiti_i_upravleniya_porshnevih_kompressorov_bitzer.

5. REFRIGERATION AND AIR CONDITIONING. Частотные преобразователи для холодильной техники. Серии AKD 2800 и AKD 102: Технические публикации Danfoss. URL: <http://adapcool.com/files/pdf/AKD.pdf>.

ANALYSIS OF THE LEVEL OF HIGHER HARMONICS IN THE SUGAR SUPPLY SYSTEM

V. Shesterenko, I. Izvolenskiy, O. Mashchenko

National University of Food Technologies

Key words:

Power supply system

Non-sinusoidal

Higher harmonics

Energy efficiency

Article history:

Received 16.07.2020

Received in revised form

30.07.2020

Accepted 13.08.2020

Corresponding author:

I. Izvolenskiy

E-mail:

energetyc@ukr.net

ABSTRACT

The article considers ways to increase the efficiency of power supply systems of sugar factories. The main aspects of the analysis of the phenomenon of distortion of the shape of voltage and current curves are given.

It was noted that the structural restructuring of energy, the creation of the energy market, the implementation of energy-saving technologies have formed new relationships between the staff of power plants, power grids and consumers. The set permissible level of distortion in the network distorts the voltage. Non-sinusoidal modes adversely affect the operation of power electrical equipment, relay protection systems, automation and communication. Reducing the levels of higher harmonics in electrical networks is part of the overall task of improving the quality of electrical energy and reducing the impact of loads that distort the sinusoidal shape of the current and voltage curves. The influence of thyristor converters on the shape of the voltage curve was analyzed. The study provides an opportunity to determine the allowable parameters of the power supply system of the enterprise, where current and frequency converters are used.

The results of studies of thyristor converters operating in the electric drive system show the high efficiency of these devices. At the same time, thyristor converters generate a whole range of higher harmonics into the company's power supply system, which creates problems for other consumers. Therefore, power of the transducers at the enterprise must be limited to optimal level and determined by the level of higher harmonics generated by thyristor devices.

Systems for minimizing the level of higher harmonics are characterized by a hierarchical structure and high complexity. The criterion of optimality is the minimum of electricity losses, so mathematical models are proposed for the analysis of the level of higher harmonics in sugar factories. A study of power supply systems of plants in the Kyiv region was provided and recommendations for reducing the level of non-sinusoidal voltage were given.

АНАЛІЗ РІВНЯ ВИЩИХ ГАРМОНІК У СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЦУКРОВИХ ЗАВОДІВ

В. Є. Шестеренко, І. Є. Ізволєнський, О. А. Машенко

Національний університет харчових технологій

У статті розглянуто шляхи підвищення ефективності систем електропостачання цукрових заводів. Наведено основні аспекти аналізу явища спотворення форми кривих напруги та струму.

Зазначено, що структурна перебудова енергетики, створення енергетичного ринку, втілення енергозберігаючих технологій сформували нові взаємини між персоналом електростанцій, електричних мереж і споживачами. Встановлений допустимий рівень спотворень у мережі спотворює напругу. Несинусоїдні режими несприятливо позначаються на роботі силового електрообладнання, систем релейного захисту, автоматики та зв'язку. Зниження рівнів вищих гармонік в електричних мережах є частиною загального завдання поліпшення якості електричної енергії і зменшення впливу навантажень, що спотворюють синусоїдну форму кривих струму і напруги. Проаналізовано вплив тиристорних перетворювачів на форму кривої напруги. Дослідження надає можливість визначити допустимі параметри системи електропостачання підприємства, де застосовуються перетворювачі струму та частоти.

Результати дослідження тиристорних перетворювачів, що працюють у системі електроприводу, показують високу ефективність цих пристроїв. Водночас тиристорні перетворювачі генерують у систему електропостачання підприємства цілу гаму вищих гармонік, які створюють проблеми для інших споживачів. Тому потужність перетворювачів на підприємстві необхідно обмежувати до оптимальної і визначати її рівнем вищих гармонік, що генеруються тиристорними пристроями.

Системам мінімізації рівня вищих гармонік притаманна ієрархічна структура та висока складність. При цьому критерієм оптимальності є мінімум втрат електроенергії, тому запропоновано математичні моделі для аналізу рівня вищих гармонік на цукрових заводах. Проведено дослідження систем електропостачання заводів в Київській області і надано рекомендації щодо зниження рівня несинусоїдності напруги.

Ключові слова: система електропостачання, несинусоїдність, вищі гармоніки, енергоефективність.

Постановка проблеми: Останнім часом енергетики все частіше стикаються з проблемою виходу з ладу без видимої, здавалося б, на те причини, електричного й електронного устаткування. Так, відбувається перегрівання роторів і швидкий знос підшипників електродвигунів і генераторів, аварії електроприводів, вибухи конденсаторів, регулярний вихід з ладу мікропроцесорної техніки, підгорання нульових проводів, прискорене старіння ізоляції і корозія елементів заземлень.

Економічні збитки, що виникають у результаті впливу вищих гармонік, обумовлені, здебільшого, погіршенням енергетичних показників, зниженням надійності функціонування електричних мереж і скороченням терміну служби електрообладнання. Проблема вищих гармонік — найбільш важлива частина проблеми електромагнітної сумісності електрообладнання через збільшення потужності електроприймачів, що спотворюють синусоїду, та поширення електричних систем автоматичного керування технологічними процесами, які чутливі до форми синусоїди напруги.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз публікацій авторів [2; 8—11] показав, що основними типами спотворень в електричних мережах є:

- вищі гармоніки, частота яких кратна основній частоті;
- інтергармоніки — гармоніки, частота яких некрата основній частоті.

При визначенні загального рівня спотворення від кількох приймачів з навантаженнями, що викликає спотворення, сумуються випадкові вектори, а з огляду на те, що режими роботи приймачів у різних вузлах мережі незалежні один від одного, фазові кути й амплітуди гармонік можливо вважати випадковими незалежними величинами, які розподіляються за нормальним законом. Дозволений індивідуальний вклад i -го споживача у напругу n -ої гармоніки в точці загального підключення визначається за співвідношенням, де P_i — обумовлена максимальна потужність i -го споживача; $P_{\text{пр}}$ — пропускна потужність мережі. У разі відсутності характеристики використовується значення потужності короткого замикання у вузлі. У результаті нормується максимальне відношення потужності приймача електроенергії до потужності короткого замикання в точці загального підключення. Якщо індивідуальний внесок є вищим за допустимий, то необхідний більш детальний розгляд можливості підключення споживача електроенергії, що повинен характеризуватися відношеннями рівнів сприятливості до спотворень і стійкості до спотворень та до рівня електричної сумісності.

Метою статті є дослідження впливу споживачів електроенергії на рівень спотворення напруги.

Викладення основних результатів дослідження. Відхилення форми кривої струму та напруги від синусоїди розглядають за допомогою гармонічних складових за математичною теорією, створеною Фур'є (1768...1830). Термін «гармоніка» використовується в акустиці для позначення коливань струни з частотою, кратною основній частоті коливання. В цьому випадку ряд Фур'є набуває такого вигляду:

$$U(t) = U_0 + U_1 \sin(t + \psi_1) + U_2 \sin(2t + \psi_2) + \\ + U_3 \sin(3t + \psi_3) + \dots + U_v \sin(vt + \psi_v),$$

де U_1 — амплітуда першої гармоніки напруги; U_v — амплітуда вищої гармоніки напруги; ψ_1 — початкова фаза першої гармоніки; ψ_v — початкова фаза вищої гармоніки.

Несинусоїдність напруги характеризується значенням коефіцієнта спотворення синусоїдності кривої напруги — відношення дійсного значення суми гармонічних складових змінної напруги до дійсного значення змінної напруги:

$$K_{\text{нсс}} = 100 \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^N U_v^2}}{U_{\text{ном}}},$$

де N — порядок останньої із гармонічних складових напруги, що враховуються; v — порядок гармонічної складової напруги; U_v — діюче значення v -ї гармонічної складової напруги, В. При визначенні цього показника можна не враховувати гармонічні складові порядку $v > 40$.

Друга величина — коефіцієнт гармонічної складової, — величина, що дорівнює відношенню діючого значення v -ї гармонічної складової напруги до діючого значення напруги основної частоти:

$$K_{U(v)} = 100 \frac{U_v}{U_1}.$$

Допустимі значення коефіцієнта несинусоїдності наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Допустимі значення коефіцієнта несинусоїдності, %

В електричних мережах напругою до	Нормальне	Гранично допустиме
1 кВ	8	12
6...20 кВ	5	8
35 кВ	4	6

Вищі гармоніки негативно діють на всі види електрообладнання, навіть на значній відстані від місця генерації гармонік.

У регульованому електроприводі на цукрових заводах широко застосовуються тиристорні перетворювачі. Тиристори як напівпровідникові прилади були запатентовані в 1956 році. Значний коефіцієнт підсилення за потужністю, незначні власні втрати, невеликі габаритні розміри, висока надійність надають можливість створити на основі тиристорів потужні перетворювачі струму й частоти з високими техніко-економічними показниками.

Перетворювач виду струму — керований випрямляч, напруга на виході якого змінюється в широких межах. Це дає змогу регулювати частоту обертання якоря двигуна постійного струму плавно і в широкому діапазоні.

Випрямлення струму має зв'язок з послідовним перемиканням струму (без розриву) з однієї фази на іншу. Ідеальний варіант, коли перемикання струму відбувається в момент увімкнення наступного тиристора (вентиля). Практично ж струм у вентилі, що відкривається, встановлюється не відразу, а впродовж якогось часу, якому відповідає кут γ . У цей час ще зберігається струм у попередньому вентилі, тому виникає міжфазне коротке замикання, що супроводжується короткочасним зниженням напруги. Кількість комутаційних спотворень напруги залежить від кількості фаз перетворювача.

Вищі гармоніки негативно діють на електрообладнання всіх видів, навіть на значній відстані від місця генерації гармонік. Вони створюють додатковий шум у телефонному зв'язку, призводять до помилкових спрацювань відповідальної

апаратури. Проблема вищих гармонік — це основна частина проблеми електромагнітної сумісності електрообладнання у зв'язку із збільшенням потужності тиристорних перетворювачів і широким застосуванням електронних систем автоматичного керування, які чутливі до форми синусоїди напруги [1; 6].

Процес плавного регулювання струму, напруги здійснюється внаслідок варіювання моменту ввімкнення тиристора, що відбувається за допомогою імпульсного сигналу, тривалість якого має бути більшою за термін ввімкнення тиристора. У разі індуктивного навантаження сигнал керування треба підтримувати, доки струм у тиристорі не досягне значення струму утримання. У разі ємнісного навантаження можливі короточасні імпульси струму через тиристори, що можуть вивести його з ладу, тому динамічні параметри тиристора, швидкість наростання струму di/dt та напруги du/dt можуть бути недостатніми для надійної роботи схеми [1—3].

Основна причина несинусоїдності струму перетворювачів — комутація вентилів без розриву струмів, що призводять до періодичних міжфазних коротких замкнень (КЗ) в мережі живлення. Комутаційні КЗ відрізняються від аварійних тільки короткочасністю, тобто вони тривають, доки струм фази, що виходить з роботи, не спаде до нуля. В кривій напруги з'являються комутаційні спотворення, форма, величина та кількість яких залежить від схеми випрямлення, кількості фаз випрямлення, потужності перетворювача, параметрів мережі живлення, кута регулювання перетворювача. Вказані спотворення мають періодичний характер, що дає змогу застосувати гармонічний аналіз (рис. 1).

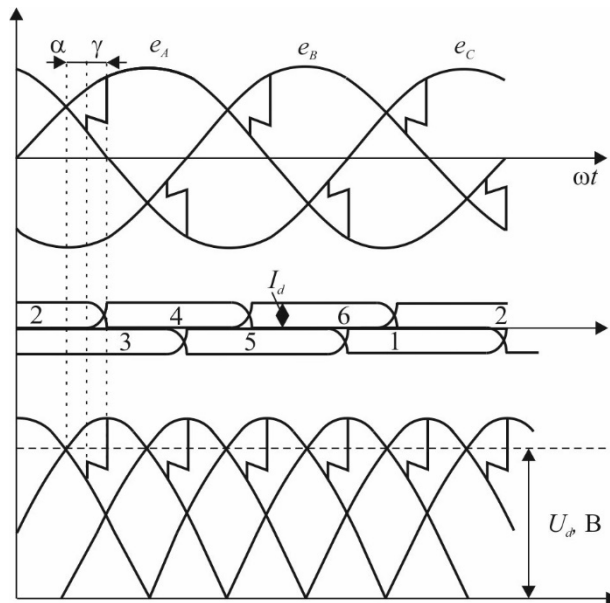


Рис. 1. Напруги та струми при роботі перетворювача струму:
 α — кут регулювання; γ — кут комутації

Порядок вищих гармонік визначається за формулою:

$$v = mk \pm 1,$$

де m — число фаз випрямлення; $k = 0, 1, 2, 3, 4$ — послідовний ряд натуральних чисел. Згідно з цією формулою для шестифазної схеми випрямлення в кривій напруги є вищі гармоніки, що називаються канонічними: $v = 5, 7, 11, 13, 17, 19, 23, 25$ тощо.

Крім цих гармонік, виявлені «анормальні», парні та непарні. Поява таких гармонік пояснюється порушенням симетрії моментів відкриття окремих вентилів перетворювача внаслідок неякісного фазування їх по всіх каналах, а також унаслідок живлення пристроїв фазного управління несинусоїдальною, несиметричною та з коливаннями амплітуди напругою.

Вираз для періодичної функції струму перетворювача можна подати у вигляді:

$$I_v = \sqrt{(A_v)^2 + (B_v)^2},$$

де I_v — амплітуда струму гармоніки; A_v, B_v — коефіцієнти ряду Фур'є.

Загальний вираз для коефіцієнтів ряду Фур'є вищих гармонік матиме такий вигляд:

$$A_v = \frac{2\sqrt{3} U_M}{v \pi X_a} \sin \frac{v \pi}{3} \left[\frac{1}{v+1} \sin(v+1) \frac{\gamma}{2} \cdot \sin(v+1) \left(\alpha + \frac{\gamma}{2} \right) - \frac{1}{v-1} \sin(v-1) \frac{\gamma}{2} \cdot \sin(v-1) \left(\alpha + \frac{\gamma}{2} \right) \right],$$

$$B_v = \frac{2\sqrt{3} U_M}{v \pi X_a} \sin \frac{v \pi}{3} \left[-\frac{1}{v+1} \sin(v+1) \frac{\gamma}{2} \cdot \sin(v+1) \left(\alpha + \frac{\gamma}{2} \right) + \frac{1}{v-1} \sin(v-1) \frac{\gamma}{2} \cdot \sin(v-1) \left(\alpha + \frac{\gamma}{2} \right) \right],$$

де U_M — амплітуда кривої напруги мережі живлення; X_a — індуктивний опір контура комутації.

Значення струмів вищих гармонік залежить від навантаження перетворювачів енергії, індуктивності електричної мережі в точці приєднання перетворювача, кута керування та кута комутації.

Початкові фази вищих гармонік визначаються за формулою:

$$\varphi_v = \arctg \left(\frac{B_v}{A_v} \right).$$

Коефіцієнт потужності перетворювача залежить від кутів α керування та комутації γ :

$$\cos(\alpha + \gamma/2) \approx \cos\varphi = P_{np} / S_{np},$$

де P_{np} — активна потужність перетворювача на стороні змінного струму.

Для приблизної оцінки можливості підключення вентильних перетворювачів у певній точці мережі, виходячи з допустимого значення коефіцієнта несинусоїдності ($K_{НС}=8\%$), розроблені математичні моделі, на основі яких побудовані номограми [1].

Коефіцієнти ряду Фур'є для першої гармоніки:

$$A_1 = \sqrt{3} I_{\text{мер}} \cos(\alpha + 60^\circ);$$

$$B_1 = 2\sqrt{3} I_{\text{мер}} \cos^2\left(\frac{\alpha - 30^\circ}{2}\right);$$

$$\cos(\alpha + \gamma/2) \approx \cos\varphi = P_{\text{пр}}/S_{\text{пр}},$$

де $P_{\text{пр}}$ — активна потужність перетворювача на стороні змінного струму.
Враховуючи, що

$$\cos\alpha - \cos(\alpha + \gamma/2) = \frac{2 I_d X_\Sigma}{U_M},$$

де I_d — випрямлений струм; X_Σ — індуктивним опір кола комутації; U_M — амплітудне значення лінійної напруги мережі.

Вираз для кута комутації можна записати так:

$$\gamma \approx \frac{6 X_{*\Sigma}}{m \sin\varphi},$$

де $X_{*\Sigma}$ — еквівалентний індуктивний опір кола комутації, приведений до повної потужності перетворювача $S_{\text{пр}}$.

Математична модель діючого значення струму вищої гармоніки перетворювача визначається за формулою:

$$I_v = \frac{m}{\sqrt{3} \pi U^* X_{*\Sigma} v^2} P_{\text{пр}} \sin\varphi \sin\left(\frac{3 v X_{*\Sigma}}{m \sin\varphi}\right).$$

Аналогічно визначається математична модель діючого значення напруги вищої гармоніки в будь-якій точці мережі живлення:

$$U_v = \frac{m}{\pi v} U \frac{X_{*\text{мер}}}{X_{*\text{мер}} + X_{*\text{пр}}} \sin\varphi \sin\left(\frac{3 v X_{*\Sigma}}{m \sin\varphi}\right),$$

де $X_{*\text{мер}} = P_{\text{пр}}/P_k$ — еквівалентний опір системи, приведений до потужності перетворювача, $P_{\text{пр}}$; $X_{*\text{пр}}$ — еквівалентний індуктивний опір, кола комутації, приведений до повної потужності перетворювача.

Номограми для визначення діючого значення напруги окремих гармонік у заданій точці мережі живлення наведені в [1].

Коефіцієнти ряду Фур'є для першої гармоніки:

$$A_1 = \sqrt{3} I_{\text{мер}} \cos(\alpha + 60^\circ);$$

$$B_1 = 2\sqrt{3} I_{\text{мер}} \cos^2\left(\frac{\alpha - 30^\circ}{2}\right).$$

Струм групи перетворювачів залежить від режиму їхньої роботи, який є випадковим і підпорядковується законам статистичного розподілу, тому в мережах з перетворювачами рекомендується не обчислювати струми та напруги вищих гармонік, а визначати відразу коефіцієнт несинусоїдності напруги за ГОСТ 13109-97. Для оцінки допустимості підключення до мережі потужних навантажень, що спотворюють, і вибору фільтрів вищих гармонік необхідно знати опори мережі на частотах гармонік, що досліджуються. Частотні характеристики можуть бути визначені розрахунком чи за допомогою експериментів, зокрема

виміру струмів і напруг вищих гармонік у вузлі, що досліджується. В цьому разі необхідно вирішувати проблему фонових гармонік.

Для приблизної оцінки можливості підключення вентильних перетворювачів у певній точці мережі, виходячи з допустимого значення коефіцієнта несинусоїдності ($K_{НС}=5\%$), розроблені математичні моделі і побудовані номограми [1].

Коефіцієнт несинусоїдності можна визначити за математичною моделлю:

$$K_{НС} = \frac{S_{\text{нр}}}{S_{\text{к}}} \sqrt{0,955 \frac{\sin \varphi}{P_{\text{нр}}/P_{\text{к}} + X_{*\Sigma\text{нр}}} - 0,91},$$

де $S_{\text{к}}$ — потужність КЗ в точці, де визначається КНС; $X_{*\Sigma\text{нр}}$ — опір кола перетворювача, приведений до $P_{\text{нр}}$;

Найчастіше перетворювач підключають до шин підстанції через трансформатор, а КНС необхідно визначити на шинах ТП, РП. Тоді опір $X_{*\Sigma\text{нр}}$ дорівнює опору трансформатора:

$$X_{*\text{нр}} = X_{*\text{тр}} = \frac{U_{\text{к}}\%}{100\%} \left(1 + \frac{K_{\text{р}}}{4} \right) \frac{P_{\text{нр}}}{P_{\text{тр}}},$$

де $P_{\text{тр}}$ — номінальна потужність трансформатора; $K_{\text{р}}$ — коефіцієнт розщеплення обмоток цього трансформатора; $U_{\text{к}}\%$ — напруга короткого замикання трансформатора.

Для двообмоткових трансформаторів $K_{\text{р}} = 0$, тоді

$$X_{*\text{нр}} = \frac{U_{\text{к}}\%}{100\%} \frac{P_{\text{нр}}}{P_{\text{к}}}.$$

Розглянуті вище перетворювачі є джерелом живлення двигунів постійного струму. Але ці двигуни мають суттєвий недолік. До їхньої конструкції входить колектор, який різко знижує надійність роботи всього електроприводу. Колектор вимагає обслуговування (регулярна зачистка, заміна графітових щіток), тому на виробництві застосовуються асинхронні двигуни (АД). Для того, щоб регулювати швидкість ротора АД, необхідно поставити перетворювач частоти.

Перетворювач частоти складається з двох тиристорних блоків, керованого випрямляча та інвертора. Інвертор перетворює постійний струм у змінний. На виході інвертора отримуємо імпульси. Щоб використати серійний АД, необхідно по його обмотках пропускати синусоїдальний струм. Для цього імпульси на виході інвертора модулюють, використовуючи широтно-імпульсну модуляцію (ШІМ) за законом синуса. Якщо такі імпульси подати на обмотку двигуна, що має значний індуктивний опір, по обмотці протікатиме струм близький до синусоїди. При цьому і в двигуні, і в інверторі будуть значні втрати активної потужності ΔP . Але при частотному регулюванні економія електроенергії в технологічному пристрої досягає 40%.

Суттєво знижуються динамічні навантаження. Повністю виключаються динамічні удари. При цьому термін служби трубопроводів, насосів зростає на 45%. Зменшуються пускові струми двигунів, а це особливо важливо для насосних, що мають свою підстанцію, оскільки можна зменшити потужність трансформатора. Тиристорні перетворювачі різко збільшують продуктивність праці, якість про-

дукції, але потужність цих перетворювачів обмежується характеристикою системи електропостачання, оскільки перетворювач струму — це потужне джерело вищих гармонік. При цьому гармоніки негативно впливають на роботу всіх електроприймачів, передусім самих перетворювачів. При значному рівні вищих гармонік відбувається зрив роботи в системі керування, перетворювачі виходять з ладу і для кожного підприємства необхідно виконувати розрахунок допустимої потужності тиристорних перетворювачів. Перетворювачі струму є потужними джерелами вищих гармонік. Провали на синусоїді напруги, що виникають при роботі одного перетворювача, можуть впливати на синхронізацію другого перетворювача або інших пристроїв, в яких необхідно фіксувати момент переходу синусоїди напруги через нуль. Гармоніки напруги можуть призвести або до пропуску відкриття тиристорів, або до хибного відкриття їх, що може викликати коротке замикання з важкими наслідками.

Гармонічний склад напруги на виході перетворювача частоти наведено на рис. 2, де показано залежність відносного значення напруги гармоніки від глибини модуляції.

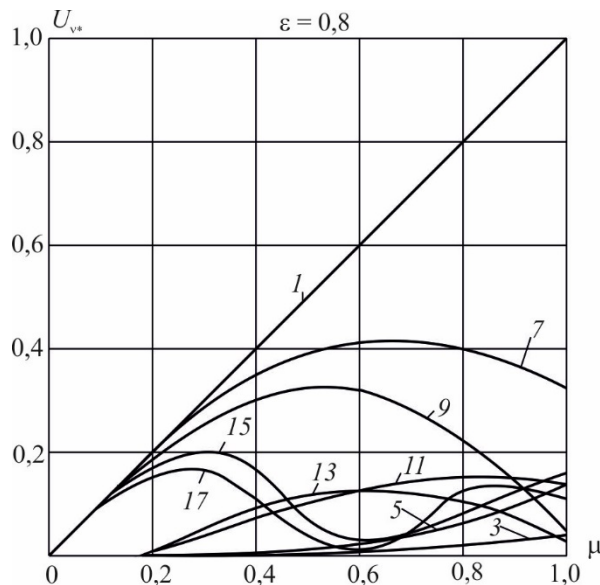


Рис. 2. Гармонічний склад напруги перетворювача з ШІМ

Висновки

Проаналізовано вплив тиристорних перетворювачів на форму кривої напруги. Дослідження надає можливість визначити допустимі параметри системи електропостачання підприємства, де застосовуються перетворювачі струму та частоти.

Результати досліджень тиристорних перетворювачів, що працюють у системі електроприводу, показують високу ефективність цих пристроїв. Водночас тиристорні перетворювачі генерують у систему електропостачання підприємства цілу гаму вищих гармонік, які створюють проблеми для інших споживачів. Тому

потужність перетворювачів на підприємстві необхідно обмежувати до оптимальної і визначати її рівнем вищих гармонік, що генеруються тиристорними пристроями.

Системам мінімізації рівня вищих гармонік притаманна ієрархічна структура та висока складність. При цьому критерієм оптимальності є мінімум втрат електроенергії. Пропонуються математичні моделі для аналізу рівня вищих гармонік на цукрових заводах.

Автори провели дослідження систем електропостачання заводів в Київській області і надали рекомендації щодо зниження рівня несинусоїдності напруги. Менеджери на деяких заводах, отримавши інформацію про розповсюдження вищих гармонік, зробили свої висновки і відключили більшість тиристорних перетворювачів від ТЕЦ цукрового заводу, підключивши їх до сільських мереж обл-енерго. При цьому рівень вищих гармонік на ТЕЦ цукрових заводів суттєво знизився, оскільки він визначався, в основному, тільки трансформаторами ТП та люмінесцентними лампами.

Література

1. Шестеренко В. Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. Вінниця: Нова Книга, 2011. 656 с.
2. Tasic D. S., Stojanovic M. S. Modified Fuzzy Clustering Method for Energy Loss Calculations in Low Voltage Distribution Networks. *Electronics and electrical engineering*. 2006. № 2. P. 50—54.
3. Жежеленко И. В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий. М.: Энергоатомиздат, 2000. 331 с.
4. Электрическая энергия. Нормы качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения: ГОСТ 13109-97. М.: Изд-во стандартов, 1997. (Межгосударственный стандарт).
5. Методика визначення економічної ефективності витрат на наукові дослідження і розробки та їх впровадження у виробництво. Наказ Міністерства економіки та з питань європейської інтеграції та Міністерства фінансів України від 26.09.01 №218/446. URL: <http://zakon.nau.ua/doc/?uid=1022.307.0>.
6. Правила користування електричною енергією. Національна комісія з питань регулювання електроенергетики України. Постанова НКРЕ, документ z0417-96, редакція від 07.05.2010, підстава z0304-10). URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/z0417-96>.
7. ДСТУ 2155-93. Енергозбереження. Методи визначення економічної ефективності заходів по енергозбереженню [Текст]. [Чинний від 1995-01-01]. К.: Держспоживстандарт України, 1995. 20 с. (Національні стандарти України).
9. Arrillaga J., Neville R. W. Power System Harmonics. Hoboken, NJ, USA, Wiley-2003. 412 p.
10. Salles D. Assessing the collective harmonic impact of modern residential loads. Part I: Methodology *IEEE Trans. Power Del.* 2012. Vol. 27, no. 4. P. 1937—1946.

УДК: 53:51:631.234:005.336.1

DIRECTIONS FOR INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF THREE-LAYER COATING OF GREENHOUSES

K. Shupchynska, O. Oliynyk, I. Tkachenko

Zaporizhzhia National University

N. Antonenko

Zaporizhzhia Polytechnic National University

Key words:

*Arched greenhouse
Energy consumption
Thermal conductivity*

Article history:

Received 13.07.2020
Received in revised form
27.07.2020
Accepted 11.08.2020

Corresponding author:

K. Shupchynska

E-mail:

shup.ka21@gmail.com

ABSTRACT

The object of the research in the field of economic activity was the optimization of existing structures of greenhouses on the example of arched greenhouses. Physical and technical parameters of the construction materials and the environment were used as criteria.

The common tendencies and advantages of modification greenhouses by improving the main structure were analyzed.

In the process of studying, there were obtained the results on technical characteristics of the greenhouse which indicate variations in the reduction of energy consumption in terms of modification of the structure by changing the number of layers of the ceiling of the greenhouse arch type.

The problem of choosing the number of the greenhouse ceiling layers, which can reduce heat loss of the structure and temperature changes in the ceiling layers was solved. An arch-type greenhouse covered with polyethylene film (polycarbonate) was considered. The comparison of a single-layer coating and the air layer coating was obtained. The significance of physical characteristics of materials and conditions were taken into account. This makes it possible to use polycarbonate polyethylene film very profitable in the context of a constant increase in heating services. This provides an opportunity for the development of small businesses.

An important component in the construction of agricultural structures is the economic component of the structure. Comparison of construction costs and savings in the heating period proves the prospects for the reconstruction of the greenhouse.

Summing up the results, it can be concluded that the right choice of material, shape and design of the greenhouse allows to reduce or increase heat loss depending on the needs of the greenhouse. It is necessary to take into account in advance the fluctuations of temperature in the selected region, length of day, lighting of the area and conditions of cultivation of agricultural products.

DOI: 10.24263/2225-2924-2020-26-4-15

НАПРЯМКИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТРИШАРОВОГО ПОКРИТТЯ ТЕПЛИЦЬ

К. С. Шупчинська, О. М. Олійник, І. Г. Ткаченко

Запорізький національний університет

Н. М. Антоненко

Національний університет «Запорізька політехніка»

Оптимізація наявних конструкцій тепличного господарства на прикладі теплиці арочного типу, де критерієм є фізико-технічні показники матеріалів конструкції та середовищ, надзвичайно важлива для господарської діяльності.

У статті проаналізовано тенденції та переваги модифікації тепличного господарства й удосконалення головної конструкції — теплиці. За рахунок продемонстрованих у процесі дослідження технічних характеристик покриття теплиці отримано результати, що свідчать про варіації зменшення енерговитрат в умовах модифікації конструкції шляхом зміни кількості шарів перекриття теплиці арочного типу.

Вирішено завдання вибору кількості шарів перекриття теплиці, яке здатне зменшити теплові втрати конструкції та зміну температури в шарах перекриття. Розглянуто теплицю арочного типу з покриттям «поліетиленова плівка-полікарбонат» та повітряного прошарку між покриттям й порівняно її енерговитрати з теплицею з одношаровим покриттям з поліетиленовою плівки. Враховано значимість фізичних характеристик матеріалів та умов, в яких відбувалися розрахунки. В процесі дослідження встановлено, що енерговитрати за умови збільшення кількості шарів перекриття зменшуються. Також встановлено, що в разі покриття теплиці «поліетиленова плівка — полікарбонат» економія витрат на опалення електроенергією за тарифами 2020 р. складатиме до 200 тис. грн за п'ять сезонів. Це відкриває можливості малому бізнесу розвивати тепличне господарство шляхом оптимізації наявних конструкцій, оскільки правильний вибір матеріалу, форми та конструкції теплиці дає змогу зменшити чи збільшити теплові втрати залежно від потреб тепличного господарства за рахунок параметрів, що використовуються. При цьому необхідно заздалегідь враховувати коливання температур у вибраному регіоні, тривалість дня, освітленість місцевості та умови вирощування сільськогосподарської продукції.

Ключові слова: *теплиця арочного типу, енерговитрати, теплопровідність, тепловіддача.*

Постановка проблеми. Сільськогосподарська діяльність в Україні завжди посідала одне з провідних місць у формуванні економіки країни. На теренах концепції розвитку сільськогосподарського сектору важливо відзначити, що перспективність малих господарств займає значну частку [1]. Завдяки столітнім традиціям раціонального використання українцями природних ресурсів, землі та води, вирощування сільськогосподарських культур виникає необхідність удосконалення умов вирощування в межах малих господарств.

Факторами довготривалої стійкості розвитку аграрного сектору економіки за економічними й соціальними показниками є, зокрема, господарсько-організаційна та галузева структура. Близько 43% валової продукції сільського господарства виробляється громадянами на земельних ділянках особистого селянського господарства. Як правило, це не експортно-орієнтована продукція, логістика зберігання якої є недостатньою. Виробництво такої продукції вимагає значних трудових затрат: фрукти та ягоди — 80,9%, картопля — 97,8%, овочі — 86,1%, молоко — 74,9% [2].

Незважаючи на концепції розвитку сільськогосподарського сектору, сьогодні диктує свої правила ринку тепличного господарства, змушуючи все більше підлаштовуватися під покупця. Це зумовлено змінами потреб споживача, частіше виникає необхідність свіжої продукції незалежно від пори року. Стрімкий розвиток «здорового та правильного харчування» призвів до збільшення попиту, тому необхідно знаходити правильні рішення відповідно до таких умов.

Вирощування продукції в тепличних господарствах є не тільки енергоємним виробництвом, а й затратним з точки зору фінансування й технічного оснащення. За таких умов виникає потреба в удосконаленні конструкції теплиці та надання рекомендацій щодо вибору керівником господарства шляхів мінімізації затрат на обслуговування та збільшення енергоефективності вже збудованих конструкцій. Пропонується використовувати в сільському господарстві вже раніше відомі методи утеплення конструкцій протягом зимового періоду шляхом накладення додаткового поверхневого шару.

Одним із завдань залишається правильний вибір стратегії розвитку та вдосконалення тепличного господарства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблематикою енергоефективності тепличного господарства займаються вже багато років і головним чином це зумовлено бажанням зменшити затрати на оснащення та будівництво споруд сільського господарства й отримання готової продукції.

У [4] А. М. Пенджиевим запропоновано варіант удосконалення збереження тепла в конструкції, для чого розглядалися теплиці траншейного типу з урахуванням внутрішнього мікроклімату. І. В. Юдаєв у [5] довів переваги використання полікарбонату для перекриття конструкції, що пов'язано з фізичними характеристиками матеріалу. У [6] проводилися дослідження можливостей геліотехнічного обладнання теплиць для акумулювання тепла й обігріву теплиць сонячною енергією, а в [9] наводяться приклади ефективного використання теплиць такого типу.

Розрізняють велику кількість видів теплиць, серед них найпопулярнішими є теплиці арокні, двоскатні та краплевидні. Перевагами теплиць арочного типу є передусім міцність конструкції, кількість світла, що проходить через поверхню та менша кількість швів, що є економічно вигідним для господаря [13; 14]. Зокрема, важливо враховувати технологію побудови теплиць арочного типу та виконання будівельних робіт. Детальні дослідження будівництва фермерських теплиць мобільним обладнанням проводяться С. В. Мишко у [15], де розглядається технологія, доступна для вітчизняного виробника. А. А. Блажнов у [10] досліджує типи теплиць і сумісність конструкції з кліматичними умовами та

доводить, що теплиця арочного типу є найбільш прийнятною в регіонах з частими опадами взимку.

Невід’ємною складовою конструкції виступає не тільки форма теплиці, а й матеріали, з яких її будують. У [11] досліджено теплофізичні властивості матеріалів і показано загальні можливості полікарбонату. У [12] проведено порівняльний аналіз будівельного матеріалу на прикладі скла та стільникового полікарбонату. В результаті було виявлено, що полікарбонат має ряд переваг порівняно зі склом, починаючи зі світлопроникності, крихкості та закінчуючи покращеними властивостями теплоізоляційними характеристик. Отже, сукупність усіх наявних переваг свідчить про доцільність використання полікарбонату порівняно з раніше актуальним матеріалом — склом.

Загалом принципи, які використовуються при розрахунках теплопровідності, широко використовуються в будівництві житлових і сільськогосподарських споруд, фундаментальність яких була досліджена та підтверджена експериментально М. А. Міхєєвим. У [20] Р. Берман розглядав теплопровідність твердих тіл на основі теплового потоку за рахунок багаторічних досліджень властивостей матеріалів. В. Ф. Формалєв наводить у [21] точні аналітичні результати розв’язання задач теплопровідності при вивченні анізотропних тіл. У [19] розглянуто графоаналітичний метод для дослідження процесів теплообміну в циліндричній конструкції з урахуванням усіх технічних характеристик шарів, а також розраховано залежність теплового потоку від температури середовища та матеріалу.

Мета дослідження: визначення напрямів підвищення енергоефективності теплиць арочного типу шляхом зміни кількості шарів покриття та їхніх теплофізичних характеристик.

Викладення основних результатів дослідження. Розглянемо теплицю арочного типу з такими припущеннями: конструкція має вигляд пів циліндра, при стиках покриття не виникає додаткового накладення шарів, у разі накладення шарів на початкову конструкцію й утворення повітряного прошарку внутрішні та зовнішні умови не змінюються.

Для розрахунку можливих температур на стиках тришарової циліндричної конструкції використовуються формули, отримані М. А. Міхєєвим у [16]. Повна енерговитратність багатошарової циліндричної конструкції визначається за формулою:

$$Q=q_l l, \quad (1)$$

де q_l — лінійна щільність теплового потоку; l — довжина конструкції.

Спочатку розраховуємо діаметри отриманих шарів конструкції циліндричної стінки:

$$d_{i+1}=d_i + 2\delta_i,$$

де d_i , d_{i+1} — внутрішній і зовнішній діаметр i -го шару; δ_i — товщина i -го шару. Розраховуємо термічний опір від теплоносія до циліндричної стінки (від більш теплого середовища до менш нагрітого) за формулою:

$$R_{l,\text{вн}} = \frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1},$$

де α_1 — [Вт/(м²·К)], коефіцієнт тепловіддачі повітря до стінки циліндра. Термічний опір циліндричної конструкції елементарного шару розраховується за такою формулою:

$$R_{l,i} = \frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i},$$

де λ_i — [Вт/(м·К)], коефіцієнт теплопровідності i -го шару.

Термічний опір тепловіддачі від стінки циліндричної конструкції до холодного теплоносія (зовнішнього середовища теплиці) розраховується за формулою:

$$R_{l,зв} = \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_4}.$$

Лінійна щільність теплового потоку набуває такого вигляду:

$$q_l = \frac{\pi(t_{вн} - t_{зв})}{R_l},$$

де $R_l = \frac{1}{\alpha_1 \cdot d_1} + \sum_{i=1}^3 \frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_4}$ — лінійний термічний опір теплопровідності через циліндричну стінку. У результаті отримуємо залежність зміни внутрішньої t_i та зовнішньої t_{i+1} температури i -го шару теплиці від коефіцієнта теплопровідності (який є характерним для матеріалу при будівництві споруд будь-якого типу), лінійної щільності та діаметра циліндричної конструкції:

$$t_{i+1} = t_i - \frac{q_l}{2\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i}.$$

Враховуючи ефективну теплопровідність повітря за [19], потрібно розглядати окремо вклад кожного теплового потоку, а саме:

$$q_2 = 5,67\varepsilon_{пр} \left[\left(\frac{t_2 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_3 + 273}{100} \right)^4 \right] \pi d_2 + \frac{2\pi\varepsilon_k \lambda_{в}}{\ln(d_3/d_2)} (t_3 - t_2),$$

де $\varepsilon_k = \frac{\lambda_{скв}}{\lambda_{в}}$ — коефіцієнт конвекції; $\lambda_{в}$ — коефіцієнт теплопровідності повітря.

Кінцеве співвідношення для лінійного теплового потоку набуває вигляду:

$$q_l = 5,67\varepsilon_{пр} \left[\left(\frac{t_2 + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t_3 + 273}{100} \right)^4 \right] \pi d_2 + \frac{\pi(t_{вн} - t_{зв})}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \sum_1^3 \frac{1}{2\lambda_i} \ln \frac{d_{i+1}}{d_i} + \frac{1}{\alpha_2 d_3}},$$

де для повітряного прошарку, за умови $(Gr \cdot Pr) \geq 10^3$, ефективна теплопровідність повітря з урахуванням конвекції визначається як $\lambda_{скв} = \lambda_{в} \varepsilon_k$, $\varepsilon_k = 0,18 \sqrt[4]{Gr \cdot Pr}$.

З огляду на вищевказані припущення розглянемо конструкцію теплиці у формі пів циліндра (рис. 1) із внутрішнім радіусом $r_1 = 2,5$ м, довжиною конструкції $l = 20$ м та матеріалом покриття поліетиленова плівка та полікарбонат литий. Основні характеристики, що використовувалися при розрахунках, коефіцієнт теплопровідності поліетиленової плівки, повітря [8] та полікарбонат ТМ Macrolux [7] — $\lambda_1 = 0,35$ [Вт/(м·К)]; $\lambda_2 = 0,022$ [Вт/(м·К)]; $\lambda_3 = 0,21$ [Вт/(м·К)]

відповідно. Припускаємо, що $\alpha_1 = 5$ [Вт/(м²·К)] та $\alpha_2 = 2,5$ [Вт/(м²·К)] у заданих умовах набувають заданих значень, температура повітря у приміщенні теплиці $t_{\text{вн}} = 20^\circ\text{C}$ та зовні теплиці $t_{\text{зв}} = -20^\circ\text{C}$ (середній показник по Україні), товщина накладених шарів $\delta_1 = 0,004$, $\delta_2 = 0,1$ та $\delta_3 = 0,008$ м [3].

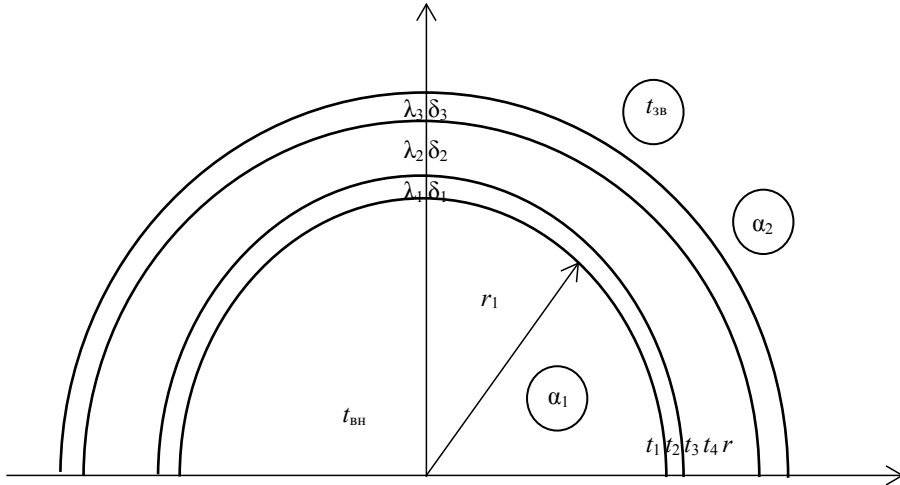


Рис. 1. Схема теплиці з урахуванням вхідних показників

На рис. 2 зображено залежність змін температур тришарової циліндричної стінки: 2а — схематична зміна температур на стиках циліндричної багатшарової стінки, 2б — залежність змін температур шарів «плівка-повітря-полікарбонат» за заданих умов залежно від радіуса конструкції.

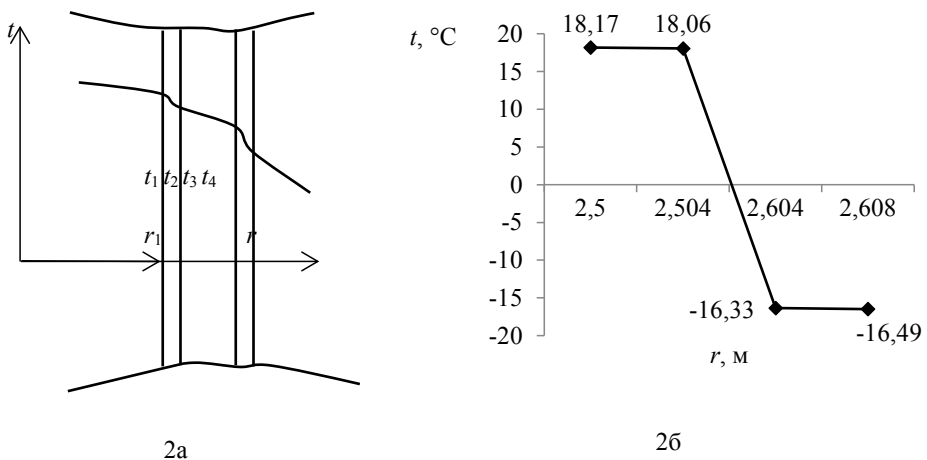


Рис. 2. Розподіл температур у тришаровій конструкції:

2а — схема зміни температури на стиках циліндричної конструкції;

2б — залежність зміни температур від радіуса тришарової циліндричної стінки теплиці

Під час порівняння енергоефективності варіантів з одношаровим покриттям і з додатковим — полікарбонатним, не враховується теплонадходження внаслідок зменшення прозорості конструкції.

Надалі планується розглядати вплив додаткового покриття на прозорість і теплонадходження від сонячної радіації, вплив зміни зовнішніх температур, а також поглинання температур внутрішнім середовищем теплиці. Зокрема, виконати порівняльний аналіз тепловтрат для каналів різної товщини та більшої кількості повітряних прошарків за рахунок додаткових перекриттів з будівельних матеріалів, а також виконати експериментальні дослідження та порівняти результати з отриманими аналітичним методом результатами.

Порівнявши значення енерговитрат одношарового та тришарового покриття, можна зробити висновок, що енергозатрати у тришаровій конструкції у 5 разів менші, а отже, це є головним показником, що свідчить про доцільність використання додаткового перекриття конструкції.

Середня ціна на один лист литого полікарбонату розміром 3,05 м·2,05 м складає 750 грн/м², на поліетиленову плівку ціна за ролон розмірами 6 м·50 м — 1817 грн [18]. Враховуючи розміри теплиці, отримуємо, що вартість покриття з полікарбонату становить 12 тис. грн, поліетиленової — 727 грн на задану площу перекриття. Виходячи з технічних характеристик матеріалу покриття, полікарбонат служить не менше 10 років, а плівка — 5 сезонів, тобто мінімальний термін використання 5 сезонів при правильному проектуванні. Якщо ж зовнішнім шаром буде виступати полікарбонат, термін слугування можна збільшити мінімум на 5 років. Тобто вартість перекриття теплиці арочного типу розмірами 5 м·20 м становить 13 тис. грн.

Враховуючи необхідність опалення взимку та період опалення в 90 днів, вартість опалення теплиці арочного типу електроенергією за тарифами сільської місцевості [17] з одношаровим покриттям з поліетиленової плівки складатиме від 25 тис. до 50 тис. грн. З урахування економії вище зазначених енерговитрат за рахунок тришарового покриття отримуємо, що затрати на опалювальний період у середньому становитимуть 6 тис. грн.

Тож лише в перший рік експлуатації одношарової теплиці витрати складатимуть у середньому 36 тис. грн, при тришаровому покритті необхідно буде витратити 19 тис. грн, проте вже з наступного сезону витрати складуть лише 6 тис. грн, що дає змогу зберегти в середньому від 15 до 200 тис. грн. за 5 сезонів.

Висновки

У рамках розвитку тепличного господарства малих підприємств і домашніх тепличних господарств виникає необхідність в енергоефективності, удосконаленні та реорганізації процесу виробництва споживаної продукції шляхом реструктуризації моделі побудови тепличних конструкцій. Ці зміни можливі за рахунок внесення технічних коректив у будову. Невід’ємною складовою змін залишається процес дослідження та порівняння технічних і фізичних характеристик, форм і структур матеріалів конструкції.

Наразі актуальність корегування плану вирощування тепличної продукції зумовлена низкою чинників, серед яких передусім можна виділити економічний.

Головним чином за рахунок змін ціни на опалення та використання водопостачання виникає необхідність зменшення затрат на вирощування готової продукції. В умовах проведених досліджень було розглянуто можливість проходження тепла крізь поліетиленову плівку й тришарову конструкцію, що складалася з поліетиленової плівки товщиною 0,004 м, повітряного прошарку (0,1 м) та стільникового полікарбонату (0,004 м). Розраховано кількість тепла в теплиці й температуру на стиках поверхонь, що дало змогу вирахувати енергозатрати на збереження температури в конструкції.

Обґрунтовано, що правильно підібрана форма теплиці, матеріал і метод модифікації покращують показники збереження тепла в конструкції, що забезпечує енергоефективність. Результати дослідження та порівняльний аналіз для теплиці з різною кількістю шарів покриття доводить ефективність збереження тепла в конструкції порівняно з одношаровою теплицю на прикладі використання матеріалу «поліетиленова плівка-полікарбонат» у 5 разів. Це призводить до економії витрат на опалення електроенергією до 200 тис. грн за 5 років.

Надалі планується розглядати енергоефективність тепличної конструкції з урахуванням теплопровідності. Більш детальний розгляд конвекції повітря в прошарку між шарами арочної (циліндричної) теплиці, зважаючи на широкий спектр параметрів впливу (нагрів поверхні під прямими сонячними променями, поверхнєве відбиття та розсіювання світла між шарами) дасть змогу визначити умови, за яких виникне можливість підвищення енергоефективності збудованої теплиці та більш точного й детального розрахунку витрат на опалення.

Література

1. Концепція Державної цільової програми розвитку аграрного сектору економіки на період до 2022 року / Міністерство аграр. політики та продовольства. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1437-2015-p#Text> (дата звернення: 20.07.2020).
2. Концепція розвитку фермерських господарств та сільськогосподарської кооперації на 2018-2020 роки / Міністерство аграр. політики та продовольства. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/664-2017-p#Text> (дата звернення: 20.07.2020).
3. Новиченок Н. Л., Шульман З. П. Теплофизические свойства полимеров. Минск: «Наука и техника», 1971. 120 с.
4. Пенджиєв А. М. Возможности экономии тепловой энергии в теплицах сельскохозяйственных предприятий. Научный результат. *Экономические исследования*. 2018. Т. 4, № 1. С. 66—79.
5. Юдаєв И. В. Изучение светопропускающих свойств сотового поликарбоната — покрывного материала круглогодичных теплиц. *Научный журнал КубГАУ*. 2016. № 120(06). С. 1—14.
6. Мазаєв Л. Р. Метод расчета и проектирования солнечной теплицы для региона Сибири: автореф. дисс. на соискание науч. степени канд. техн. наук : ВАК РФ05.20.02. Барнаул, 2011. 23 с.
7. Технічний довідник. URL: https://plastics.ua/assets/files/catalogs/building/Plastics_Tech-Reference.pdf (дата звернення: 21.07.20).
8. Чепурний М. М. Основи технічної термодинаміки. Вінниця: Поділля-2000, 2004. 358 с.
9. Горобець В. Г., Антипов Є. О. Застосування сонячних енергетичних установок та акумуляторів теплоти в системах тепло забезпечення теплиць. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2014. № 194(2). С. 100—107.

10. Блажнов А. А. Анализ строительных решений зимних теплиц. URL: [http://library.orelsau.ru/annual-subscription/Сборник%20Парахинские%20чтения%202018%20\(2\).pdf#page=100](http://library.orelsau.ru/annual-subscription/Сборник%20Парахинские%20чтения%202018%20(2).pdf#page=100) (Дата звернення: 21.07.2020).
11. Чигвінцева О. П., Киприч В. В. Дослідження теплофізичних властивостей органопластиків на основі термопластів. *Міжвузівський збірник «НАУКОВІ НОТАТКИ»*. 2016. № 53. С. 183—187.
12. Болоненкова Л. П., Габрінець В. О., Накашидзе Л. В., Митрохов С. О. Вибір конструкційних матеріалів для сонячного колектора. *Сонячна енергетика*. 2012. № 2(51). С. 51—54.
13. Кашин С. П. Теплицы и парники. Москва: Рипол-Классик, 2012. 576 с.
14. Бондарева О. Б. Приусадебное хозяйство. Донецк: Сталкер, 2007. 92 с.
15. Мишко С. В., Турчин В. О., Чебанов Т. Л., Чебанов Л. С. Технологія будівництва мобільних фермерських теплиць. *Нові технології в будівництві*. 2016. № 31. С. 115—118.
16. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. Изд. 2-е, стереотип. Москва: «Энергия», 1977. 344 с.
17. Мінфін. Тарифи на електроенергію. URL: <https://index.minfin.com.ua/tariff/electric/> (дата звернення: 21.07.20).
18. Интернет-магазин Вашего урожая. URL: <https://fermershop.com.ua> (дата звернення: 20.07.20).
19. Абишева Л. С. Исследование сложного теплообмена в многослойной цилиндрической конструкции графоаналитическим методом. *Вестник Самарского гос. тех. ун-та. Серия «Технические науки»*. 2016. Т. 24. № 4. С. 99—107.
20. Берман Р. Теплопроводность твердых тел / пер. с англ. Л. Г. Асламазова; под ред. В. З. Кресина. Москва: Мир, 1979. 286 с.
21. Формалев В. Ф. Теплопроводность анизотропных тел. Часть 1. Аналитические методы решения задач. Москва: Физматлит, 2014. 349 с.

RESEARCH OF HYDRODYNAMICS AND HEAT EXCHANGE MOTION IN THE PIPES OF EVAPORATORS WITH NATURAL CIRCULATION

Y. Porzhezinsky

National University of Food Technologies

Key words:

Evaporator

Knocking over of circulation

Mode

The semi tipped motion over

Heat exchange

Article history:

Received 05.08.2020

Received in revised form 19.08.2020

Accepted 28.08.2020

Corresponding author:

Y. Porzhezinsky

E-mail:

npnuht@ukr.net

ABSTRACT

In the article questions about heat exchange and hydrodynamics in the pipes of modern evaporators during knocking over of circulation were considered.

Knocking over of circulation might be at a significant thermal and hydrodynamic unevenness in a device, in the least heated pipes, in the presence of liquid layer above the upper pipe grate.

During knocking over of circulation in the pipes the next modes of uncast motion of liquid appear: pulsation motion, the semi tipped motion over, when through pipe's walls tape of liquid moves down against flow with steam and uncast motion in the absence of boiling liquid in pipes. The semi tipped motion over exists in the narrow interval of thermal streams and does not depend on the height of swelling. A higher edge is determined by the inversion of stream, when uncast motion is impossible, and lower is determined by a bulk density of irrigation $\Gamma_v \geq 0,0027\sqrt{gd^3}$ when speed of liquid becomes equal to speed of steam bubble demolition. Passing of pipe to uncast motion without boiling is possible only through the semi tipped motion over. Liquid begins to move downward a full pipe, feeds nearby pipes and overheats.

During knocking over of circulation abruptly changes the temperature distribution, average intensity of heat exchange, hydrodynamic terms and structure of stream along length of pipe, that influences on quality of heat-sensitive sugar juices. Therefore knocking over of circulation phenomenon is undesirable.

Experiments showed that in the first and second corps of the evaporators knocking over of circulation was absent. It is preferable to use film device with falling film at flowing with steam on the last corps of the evaporated station.

ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІКИ І ТЕПЛООБМІНУ В ТРУБАХ ВИПАРНИХ АПАРАТІВ З НАТУРАЛЬНОЮ ЦИРКУЛЯЦІЄЮ

Ю. Г. Поржезінський

Національний університет харчових технологій

У статті розглянуто питання теплообміну і гідродинаміки в трубах сучасних циркуляційних випарних апаратах при перекиданні циркуляції. Перекидання циркуляції можливе при значній тепловій і гідродинамічній нерівномірності в апараті при наявності шару рідини над верхньою трубною решіткою. При перекиданні циркуляції в трубі утворюються такі режими несхідного руху рідини: нестійкий пульсаційний рух, напівперекинутий рух, коли по стінках труби вниз рухається плівка рідини в протитоці з парою, і несхідний рух при відсутності кипіння рідини в трубах. Напівперекинутий рух існує у вузькому інтервалі теплових потоків і не залежить від висоти набухання. Верхня межа визначається інверсією потоку, коли неможливий несхідний рух, а нижня — об'ємною густиною зрошування $\Gamma_v \geq 0,0027\sqrt{g d^3}$, коли швидкість рідини дорівнює швидкості зносу парової бульбашки. Перехід труби на несхідний рух без кипіння можливий тільки через напівперекинутий рух. Рідина починає рухатись вниз повною трубою, живить сусідні труби і перегрівається.

При перекиданні циркуляції різко змінюється розподіл температур, середня інтенсивність теплообміну, гідродинамічні умови і структура потоку по довжині труби, що впливає на якість термочутливих цукрових соків, тому перекидання циркуляції небажане явище.

Досліди показали, що на першому і другому корпусах випарних апаратів перекидання циркуляції відсутнє. Бажано на останніх корпусах випарної станції використовувати плівкові апарати з падаючою плівкою при прямотоці з парою.

Ключові слова: випарний апарат, перекидання циркуляції, напівперекинутий рух, теплообмін.

Постановка проблеми. В цукровій промисловості широке розповсюдження отримали циркуляційні випарні апарати. Ці апарати мають ряд переваг: легкість регулювання режиму випаровування, менша чутливість до коливань подачі соку, несладна конструкція тощо. Основний недолік апаратів — відносно великий час перебування розчину в апараті, що приводить до втрат цукру і зростання кольоровості соку, низька інтенсивність тепловіддачі α_2 на останніх корпусах випарної станції, що працюють на низьких теплових потоках.

На випарних апаратах з натуральною циркуляцією кип'ятильна труба працює тільки з максимальною продуктивністю на оптимальному п'єзометричному рівні h_k (опт.), який визначається мінімальною швидкістю циркуляції, достатньої для зрошування всієї поверхні нагріву труби. Робота апарата при $h_k > h_{k \text{ опт}}$ приводить до зниження α_2 за рахунок збільшення економайзерної ділянки, а при роботі $h_k < h_{k \text{ опт}}$ знижується α_2 за рахунок оголення верхніх ділянок труби, одночасно

збільшується кольоровість соку. Останнє приводить до того, що випарні апарати цукрової промисловості працюють при $h_k > h_{k \text{ опт}}$.

У наш час продуктивність цукрових заводів зростає до 6—10 тис. тонн буряка на добу, одночасно збільшується поверхня нагріву випарних апаратів до 2120, 2360, 3000 м² та їхня теплова і гідравлічна нерівномірність в обігріві труб, що приводить до порушення циркуляції в трубах, які нагріваються найменше. Зростання кольоровості заводських соків багато залежить від теплових і гідродинамічних режимів у трубах випарних апаратів.

Гідродинаміка і теплообмін при порушенні циркуляції в трубах випарних апаратів з натуральною циркуляцією досліджені недостатньо, переважно мають протилежне тлумачення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як показали останні дослідження [2], при значній тепловій нерівномірності в обігріві труб на низьких теплових потоках, на яких працюють останні корпуси випарної станції [1], в окремих трубах, що нагріваються найменше, можливе утворення несхідного руху рідини, перекидання циркуляції.

Ю. Л. Сорокін, обробляючи дослідні дані [3], довів, що при значенні критерію стійкості двофазного потоку $K \approx 3,2$ двофазний потік у кип'ятильній трубі рухається тільки вгору, для протитечійного режиму настає інверсія потоку і несхідний рух неможливий:

$$K = \frac{w'' \sqrt{\rho'' g}}{\sqrt[4]{g^3 \sigma (\rho' - \rho'')}} \quad (1)$$

де w'' — швидкість пари, м/с; ρ' , ρ'' — густини рідини та пари, кг/м³; σ — поверхневий натяг рідини, н/м; g — прискорення земного тяжіння, м/с².

Теплообмін при несхідних плівкових течіях цукрових розчинів у кип'ятильній трубі детально досліджений у [5].

У циркуляційному контурі парогенератора з натуральною циркуляцією при наявності значної теплової і гідродинамічної нерівномірності можливо перекидання циркуляції в екранній трубі, яка виходить під рівень води в барабані і має найменшу інтенсивність обігріву. Ці питання детально відпрацьовані, також розроблена методика розрахунку порушення циркуляції в парогенераторах [4], але конструктивно і за умовами роботи котел значно відрізняється від випарного апарата.

Мета статті: дослідити теплообмін і гідродинаміку процесів при порушенні циркуляції й утворенні несхідного руху рідини в кип'ятильних трубах задля зменшення кольоровості бурякових соків і підвищення інтенсивності теплообміну у випарних апаратах з натуральною циркуляцією.

Викладення основних результатів дослідження. У циркуляційних випарних апаратах з великою поверхнею нагріву існує теплова й гідродинамічна нерівномірність, однак усі кип'ятильні труби працюють при однаковому п'єзометричному рівні h_k . Для кожної кип'ятильної труби справедливе рівняння:

$$\rho' g (h_n + L_{\text{ек}}) + (L_{\text{тр}} - L_{\text{ек}}) \rho_{\text{сум}} g + \Delta P_{\text{оп}} = h_k \rho' g, \quad (2)$$

де h_n — ваговий рівень набухання над верхньою трубною решіткою, м; ρ' , $\rho_{\text{сум}}$ — густина рідини і парорідинної суміші, кг/м³.

При зменшенні теплового навантаження в трубі зменшується економайзерна ділянка $L_{ек}$, падає швидкість циркуляції і швидкість пари w'' . Опір $\Delta P_{оп}$ в трубі також зменшується. В окремих трубах апарата, що майже не нагріваються, економайзерна ділянка може досягнути такої величини, що циркуляція в трубі зупиняється. При наявності над кип'ятильною трубою шару рідини h_n і при швидкості пари на виході менше за $w''_{кр}$, отриманої із рівняння (1) при $K < 3,2$, труба починає працювати в напівперекинутому режимі. Труба живиться рідиною, що над трубою решіткою, по стінках труби рухається плівка рідини вниз, а по центру відбувається підкидання рідини парою, що рухається в гору. Труба живить рідиною із сусідньої труби і працює з високим значенням α_2 по всій довжині в області стійкого напівперекинутого руху при загальному п'єзометричному рівні h_k (опт.)

Процес у трубі при напівперекинутому русі визначається швидкістю пари на виході із труби, тобто співвідношенням гравітаційних сил і дотичних сил тертя на границі розділу фаз $\tau_{дот}$ і не залежить від величини h_n . Дотичні сили визначаються за формулою:

$$\tau_{дот} = \xi_{тр} \frac{w''_{від}{}^2 \rho''}{8}, \quad (3)$$

де $\xi_{тр}$ — коефіцієнт опору тертя; $w''_{від} = w'' + U$ — відносна швидкість пари, м/с; w'' — швидкість пари, м/с; U — швидкість плівки на границі розділу фаз м/с.

Із формули видно що зі зменшенням тиску вторинної пари (ρ'' зменшується), збільшенням діаметру труби, (зменшення $w''_{від}$) область існування напівперекинутого руху збільшується.

З падінням теплового потоку швидкість пари зменшується, товщина плівки рідини і її швидкість руху зростає і при умові, що об'ємна густина зрошування $\Gamma_v \geq 0,0027\sqrt{gd^3}$, м/с, утворюється несхідний рух рідини без кипіння. При цьому кольоровість стоку збільшується за рахунок його перегріву в опускних кип'ятильних трубах, тому випарні апарати повинні працювати в умовах, що усувають несхідний рух рідини без кипіння. Кип'ятильна труба у випарному апараті при несхідному русі рідини без кипіння стійко працює тільки при відсутності закипання в ній рідини. З початком пароутворення корисний напір труби різко збільшується, швидкість циркуляції зменшується і труба переходить на підйомний рух. Утворення в трубі несхідного руху рідини без кипіння можливо тільки через напівперекинутий рух, як і в парогенераторах [4].

Збільшення корисної різниці температур між температурою кипіння рідини і вторинною парою, довжини труби і вагового навантаження апарата усуває можливість перекидання циркуляції. Напівперекинутий рух рідини існує у вузькому інтервалі теплових потоків, верхня межа визначається інверсією потоку, коли неможливий несхідний плівковий рух $K \geq 3,2$ [3], а нижній густиною зрошування, коли швидкість рідини дорівнює швидкості зносу парової бульбашки в трубі.

Інтенсивність теплообміну при напівперекинутому русі може бути нижчою, вищою і дорівнювати інтенсивності теплообміну підйомного руху на оптимальному рівні. При пульсаційному режимі, коли тільки починається напівперекинутий рух, рідини, що надходить у трубу недостатньо для повного зрошення всієї поверхні нагріву, тому коефіцієнт тепловіддачі (α_2) буде нижчим за $\alpha_{2опт}$. Наявність рідини внизу труби сприяє зрошенню нижніх ділянок труби і підвищує α_2 .

Із зниженням теплового потоку Γ_v збільшується, умови зрошування труби поліпшуються. При низьких теплових потоках $q < 2 \cdot 10^3$ Вт/м² величина α_2 визначається теплообміном при плівковому русі рідини, інтенсивність теплообміну порівняно з кипінням в підйомних трубах на $h_{K\text{ опт}}$ збільшується [5]. При несхідному русі рідини повною трубою без кипіння інтенсивність теплообміну падає і визначається за формулами теплообміну при русі рідини без кипіння.

Для випарних апаратів з натуральною циркуляцією, що працюють на теплових потоках ($q > 10500$ Вт/м²), на оптимальному рівні рекомендується тримати шар рідини $h_n = 100$ мм над верхньою трубою решіткою за рахунок подовження опускних труб чи утворення переливу в ці труби. Завдяки цьому апарат стійко працює з $h_K \leq h_{K\text{ опт}}$ без оголення верхніх ділянок труби за рахунок затікання рідини із h_n з високим α_2 по всій довжині труби.

Досліди показали, що на першому і другому корпусах випарних апаратів перекидання циркуляції відсутнє.

Висновки

1. При значній тепловій і гідродинамічній нерівномірності та наявності шару рідини над вертикальною трубою решіткою у випарному апараті в трубах, що нагріваються найменше, може утворитись напівперекинутий рух, який при об'ємній густині зрошування $\Gamma_v \geq 0,0027\sqrt{gd^3}$ переходить у несхідний рух рідини без кипіння, що погіршує якість соку.

2. Для запобігання оголення верхніх ділянок кип'ятильної труби при коливаннях подачі соку на апарат необхідно підтримувати ваговий рівень набухання $h_n = 100$ мм над верхньою трубою решіткою.

3. При реконструкції випарної станції бажано залишати на першому і другому корпусі циркуляційні апарати, а інші корпуси, де можливе перекидання циркуляції і низький α_2 , замінити на плівкові апарати з незхідною плівкою в прямотоці з парою.

Література

1. Тобілевич Н. Ю., Матвієнко Б. А. Теплова і гідравлічна нерівномірність у трубних пучках випарних апаратів і випарників. *Харчова промисловість*. 1966. № 3. С. 18—20.
2. Поржезінський Ю. Г. Порушення циркуляції у випарних апаратах з природною циркуляцією цукрового заводу. *Цукор України*. 2014. № 2(98). С. 29—30.
3. Сорокін Ю. Л. Кудряшен А. Г., Покусаєв Б. Г. Исследование устойчивости пленочного режима течения жидкости в вертикальных трубах при восходящем движении газа. *Химическое и нефтяное машиностроение*. 1965. № 5. С. 16—18.
4. Локшин В. А. Гидравлический расчет котельных агрегатов. Нормативный метод. Москва: Энергия, 1978. С. 225—255.
5. Петренко В. П., Рябчук О. М., Мірошник М. М. Теплообмін в процесах кипіння та випаровування з вільної поверхні плівок цукрових розчинів в низхідних кільцевих потоках. *Харчова промисловість*. 2015. № 18. С. 124—126.

EMULSIFICATION IN APPARATUS WITH REGULAR PERFORATED NOZZLES

A. Martseniuk

National University of Food Technologies

Key words:

Emulsification mode

Regular nozzle

Toothed perforation

Turbulence

Article history:

Received 03.08.2020

Received in revised form

18.08.2020

Accepted 02.09.2020

Corresponding author:

A. Martseniuk

E-mail:

npnuht@ukr.net

ABSTRACT

Support gratings with a reduced free cross-section inhibit the movement of the liquid and are flooded by it, and the gas passes through the liquid, interacts intensively with it and forms a gas-liquid emulsion — emulsified layer. The height of the emulsified layer is regulated and leaves constant at certain constant liquid rates and lesser for gas. At constant flow rates, the level of emulsion on the grid remains constant, because the hydraulic pressure of the gas balances the weight of the emulsion, and the amount of incoming liquid is compensated by same amount of liquid flowing from the grid.

Possibility of creating an emulsified layer in apparatus with a regular nozzle with notched petals, as well as with notched holes and horizontal corrugations placed between rows of holes was investigated. Zones of the emulsified layer were organized by bending into a horizontal position or at an upward angle of the notched petals, cutted on three sides and placed into horizontal area.

The height of the emulsion layer depends on the flow of liquid and gas also on the shape and bending angle of the petals. Above the emulsion layer and below it, the mode of normal film or droplet-film flow is maintained. Hydraulic resistance of the layer and the efficiency of mass transfer take different values depending on the type of nozzle. Total resistance of the nozzle in the presence of emulsification zones consists of the sum of the nozzle sections operating in normal and emulsified modes and the hydraulic resistance of the gratings.

In increased height apparatus it is possible to organize the necessary quantity of emulsified zones and thus to regulate intensity of their work. Total efficiency of the apparatus with emulsified zones is calculated by the amount of transferred component in the emulsification zones and in the operation zones of the nozzle in countercurrent mode.

The use of emulsification zones significantly expands the range of applications of regular nozzles for work in intensive modes.

ЕМУЛЬГУВАННЯ В АПАРАТАХ З РЕГУЛЯРНИМИ ПЕРФОРОВАНИМИ НАСАДКАМИ

О. С. Марценюк

Національний університет харчових технологій

У статті зазначено, що опорні решітки зі зменшеним вільним перерізом гальмують рух рідини і затоплюються нею, а газ при цьому барботує крізь рідину, інтенсивно з нею взаємодіє й утворює газорідинну емульсію — емульгований шар. Висота емульгованого шару регулюється і стабільно утримується при певних постійних витратах рідини і меншою мірою — газу. При постійних витратах фаз рівень емульсії на решітці залишається постійним, оскільки гідравлічний напір газу зрівноважує силу ваги емульсії, а та кількість рідини, що надходить, компенсується такою ж кількістю рідини, яка стікає з решітки.

Досліджено можливість створення емульгованого шару в апаратах з регулярною насадкою із зубчастими пелюстками, а також із зубчастими отворами та горизонтальними гофрами, розміщеними між рядами отворів. Зони емульгованого шару організували за допомогою відгинання в горизонтальне положення або під кутом вгору зубчастих пелюсток, просічених з трьох сторін і розміщених у горизонтальних площинах.

Висота шару емульсії залежить від витрат рідини і газу та від форми і кута відгинання пелюсток. Над шаром емульсії і під ним зберігається режим звичайної плівкової або краплинно-плівкової течії. Гідравлічний опір шару й ефективність масообміну набувають різних значень залежно від типу насадки. Загальний опір насадки за наявності зон емульгування складається із суми гідравлічних опорів ділянок насадки, що працюють у звичайному й емульгованому режимах.

В апаратах підвищеної висоти можна організувати потрібну кількість емульгованих зон і таким чином регулювати інтенсивність їх роботи. Сумарна ефективність апарата з емульгованими зонами підраховується за кількістю перенесеного компонента в зонах емульгування і в зонах роботи насадки в протитечійному режимі.

Використання зон емульгування значно розширює діапазон застосування регулярних насадок для роботи в інтенсивних режимах.

Ключові слова: режим емульгування, регулярна насадка, зубчаста перфорація, турбулізація.

Постановка проблеми. Розвиток харчової промисловості України тісно пов'язаний з підвищенням інтенсивності процесів тепломасообміну в системах газ-рідина, які здійснюють переважно у протитечійних насадкових апаратах. Рідина в них рівномірно подається згори, стікає вниз поверхнею тіл насадки і контактує зі струменями газу, що рухаються знизу вгору в каналах між тілами насадки й обтікаючою їх рідиною. У результаті взаємодії потоків газ і рідина обмінюються компонентами, які в них містяться [1]. Насадка розміщується на опорних решітках з великим вільним перерізом, сумірним з вільним перерізом

насадки, щоб не створювати значного гідравлічного опору проходженню газу й рідини та не затримувати їх рух.

У разі звуження перерізу опорної решітки рідина затримується на ній і затоплює решітку. При цьому над решіткою газ вже не рухається вільно в каналах між рідиною і насадкою, а барботує у вигляді окремих бульбашок і струменів крізь шар рідини на решітці. Струмені газу та рідини інтенсивно перемішуються й утворюють газорідинну емульсію — режим емульгування. Обидві фази (газова і рідка) переходять у високорухливий диспергований стан, який за зовнішнім виглядом нагадує киплячу газорідинну суміш. Унаслідок інтенсивної взаємодії потоків ефективність масообміну і, відповідно, гідравлічний опір апарата, що працює в цьому режимі, значно зростають.

У режимі емульгування при постійних витратах рідини і газу рівень емульсії над решіткою залишається постійним, оскільки гідравлічний напір газу (сила динамічної дії газового потоку) зрівноважує силу ваги емульсії, яка міститься на решітці, а та кількість рідини, що надходить згори, компенсується такою ж кількістю рідини, що стікає з решітки [1; 2].

Мета дослідження: визначити можливість, спосіб утворення, параметри й ефективність режиму емульгування в масообмінних колонах з регулярними насадками.

Матеріали і методи. Дослідження проводили у прозорій колоні з органічного скла перерізом $0,2 \cdot 0,2$ м², з висотою робочої ділянки 1 м, заповненої регулярно листовою перфорованою насадкою двох різновидностей. Витрати продуктів вимірювали витратомірами, гідравлічний опір — U -подібним манометром. Масообмін у рідкій фазі досліджували на процесі десорбції повітрям діоксиду вуглецю з водних розчинів, а в газовій фазі — на процесі поглинання етанолу водою з газоповітряної суміші при 20°C.

Результати і обговорення. Режим емульгування використовують в апаратах з нерегулярною (насіпною) насадкою (тонкі кільця різної будови, сідлоподібні та інші фасонні тіла з розвиненою поверхнею і невеликим об'ємом). При невеликих щільностях зрошення рідина неупорядковано стікає по поверхні насадки у вигляді плівок і струмінців, а при зростанні щільностей зрошення об'єднується в більші струмені. На рух рідини нерівномірними звивистими траєкторіями накладається неупорядкований рух газу в порожнинах елементів насадки і в проміжках між насадковими тілами, що сприяє розвитку турбулентності потоків. Окремі ділянки насадки, залежно від їх орієнтації, можуть не змочуватись і не брати участі в масообміні.

Створення емульгування, внаслідок затримки рідини опорною решіткою, вирівнює нерівномірність течії і посилює інтенсивність взаємодії потоків. Зі збільшенням швидкості газу і витрат рідини зона емульгування поступово розширюється до верхнього рівня насадки. За перевищення швидкості газового потоку емульгована рідина може викидатися з апарата.

Оскільки внаслідок випадкових порушень швидкості газу утримувати стійкий режим емульгування в апаратах з насипними насадками незручно, то використовують режим затоплення насадки, який в умовах невисоких швидкостей газу наближається до режиму емульгування, але менш ефективний від

нього, хоч і ефективніший за режим протитечійної взаємодії [1; 3]. Для цього апарат заповнюють рідиною до верхнього рівня насадки, а газ рівномірно розподіляють через барботер, розміщений над решіткою, на якій лежить насадка.

Під час роботи в затопленому стані рідка фаза стає суцільною, а газова — дисперговою: бульбашки і струминки газу барботують крізь шар рідини. Роль насадки зводиться до додаткового подрібнення потоків газу і рідини, внаслідок чого підвищується площа поверхні та інтенсивність контакту фаз.

У режимі барботажу масообмін інтенсивніше відбувається на початкових ділянках шляху газової фази в рідині внаслідок швидкого оновлення поверхні контакту фаз під час утворення й росту газових бульбашок. При подальшому підніманні бульбашок рушійна сила процесу суттєво зменшується і швидкість масообміну знижується. Внаслідок цього в барботажних апаратах немає потреби пропускати газ крізь високий шар рідини, а краще створювати умови барботажу в невисокому шарі, що досягається переходом до використання тарілчастих апаратів. У режимі емульгування фази оновлюються безперервно внаслідок постійного об'єднання та дробіння бульбашок газу і частинок рідини, тому висота емульгованого шару може бути значно більшою від висоти барботажного шару.

В апаратах з регулярними тонколистовими насадками енергія газового потоку використовується ефективніше, ніж в апаратах з насипною насадкою, внаслідок менших гідравлічних втрат під час упорядкованого руху потоків у каналах зручної обтічної форми без надмірних виступів і порожнин та необгрунтованих звужень і розширень, які можуть утворювати застійні зони, що не беруть участі в масообміні.

Традиційне використання регулярних насадок лише в апаратах з низьким гідравлічним опором заважало використовувати їх в режимі емульгування. Проте розроблення більш ефективних насадок з підвищеним гідравлічним опором розширює можливість використання їх у режимі роботи з емульгованим шаром. Для цього в листах насадки пропонується висікати видовжені зубчасті отвори [4], а також застосовувати невисокі гофри або рифлення [5], висота яких сумірна з товщиною плівки стікаючої рідини і які розміщені поперечно до напрямку течії рідини. На зубцях верхніх країв отворів формуються краплі рідини, під час утворення яких рідина інтенсивно перемішується, а газ, обтікаючи краплі, додатково турбулізується. Обтікання гофрів і рифлень також турбулізує потоки.

Гофри доцільно розмішувати між горизонтальними рядами зубчастих отворів. Це сприяє турбулізації обох фаз і підвищує ефективність масообміну, що зручно для переробки систем, у яких опір процесу масопередачі розподілений в обох фазах. Якщо опір зосереджений переважно в газовій фазі, то для посилення її турбулізації висоту гофрів збільшують до розумних меж, які не приводять до сильного зростання гідравлічного опору.

Вищою ефективністю масообміну і, відповідно, вищим гідравлічним опором характеризуються насадки з просіченими пелюстками [6]. Отвори в листах цих насадок виконують не висіканням частини листів, а просіканням листів з

трьох сторін і відгинанням просіченої частини листа по контуру четвертої сторони під певним кутом униз.

У насадках з просіченими пелюстками фіксована площа поверхні не зменшується на величину поверхні отворів, а залишається незмінною. Інтенсивність масообміну і гідравлічний опір суттєво зростають унаслідок інтенсивної турбулізації потоків відхиленими під кутом пелюстками. При цьому зрошувальна рідина стікає поверхнею листів насадки у вигляді окремих плівок та струмінців і одночасно поверхнею пелюсток у вигляді каскадів крапель.

Ступінь турбулізації потоків залежить переважно від кута нахилу пелюсток, форма яких може бути квадратною, видовженою, округленою тощо. Краї пелюсток можуть мати один або кілька зубців. Відгинання пелюсток у горизонтальне положення [7] або під кутом угору значно звужує вільний переріз насадки й утворює конструкцію, подібну за принципом дії до горизонтальної решітки, на якій утворюється барботажний або емульгований шар взаємодіючих фаз.

Характер течії рідини в режимі протитечійної взаємодії залежить від витрат обох фаз. Рух повітря з невеликою швидкістю (до 1,5 м/с) практично не змінює характеру однофазного стікання рідини по насадці, під час якого спостерігаються два типи потоків: потік першого типу з вертикальною течією рідини на ділянках між пелюстками і практично відсутнім перетіканням рідини з вертикальної поверхні листів на пелюстки, особливо на їхні нижні площини, які залишаються незмоченими, і потоки другого типу, які характеризуються послідовним стіканням рідини краплями (при низьких щільностях зрошення) або струмінцями (при збільшених витратах) з кожної вище розміщеної пелюстки на нижню. Обидва типи потоків стікають розрізнено і між собою практично не перемішуються.

Збільшення швидкості повітря на понад 2,5 м/с і витрат (щільності зрошення) рідини на понад 0,06 кг/(м с), що відповідає робочим режимам насадки, приводить до повного змочування поверхні насадки (і пелюсток), зростання інтенсивності взаємодії фаз і перемішування потоків першого й другого типів внаслідок підвисання рідини на пелюстках і відхилень напрямку течії її елементів від вертикального. Середня швидкість стікання рідини поступово зменшується і рідина починає заповнювати насадку.

Відгинання пелюсток під кутом угору в горизонтальних площинах насадки за будовою і принципом дії нагадує утворення горизонтальних решіток. На таких решітках починає збиратись рідина, звужуючи канали для проходження газу. Спочатку це спостерігається там, де потоки рідини під час течії вниз потрапляють у відкриті з боків комірки між відігнутими вгору пелюстками і тілом листів насадки, де вони, не маючи змоги продовжувати вертикальний рух вниз, змінюють траєкторію руху на горизонтальну і у вигляді струмінців рідини перекривають шлях газовим струменям. Газові струмені розбивають ці струмінці і при збільшенні витрат фаз поступово утворюють шар газорідинної емульсії.

Шар емульсії, утвореної за допомогою відхилення вгору одного горизонтального ряду пелюсток, показано на рис. 1.

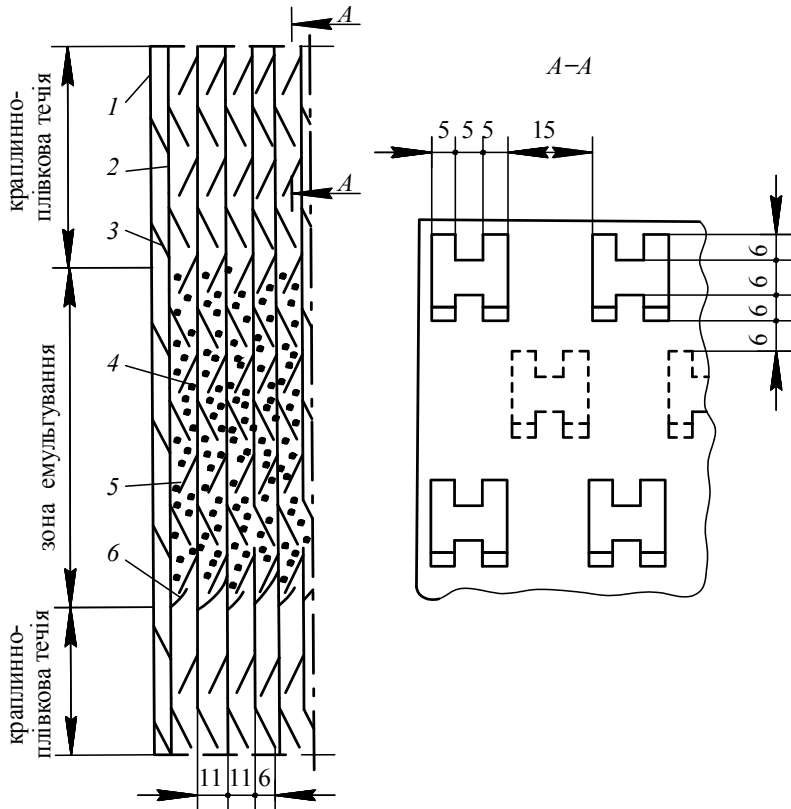


Рис. 1. Ділянка зони емульгування в насадці із зубчастими пелюстками:

- 1 — стінка колони; 2 — лист насадки; 3 — відігнута вгору пелюстка для відведення рідини зі стінки колони на насадку; 4 — відігнута вниз пелюстка; 5 — емульгований шар; 6 — відігнута вгору пелюстка для утворення зони емульгування

Пелюстки розміром 15·18 мм розміщені горизонтальними рядами на відстані 15 мм і мають вгорі по центру лінії відгинання просічений зубець та по два звисаючі зубці на нижніх краях. Відстань по вертикалі між горизонтальними рядами пелюсток 6 мм, пелюстки кожного суміжного ряду зміщені по горизонталі на ширину пелюстки (15 мм). Усі пелюстки кожного горизонтального ряду відхилені в один бік, а в сусідніх по висоті рядах — у протилежний. Каскадне стікання рідини з пелюстки на пелюстку забезпечується зміщенням листів насадки по висоті на крок між рядами пелюсток (24 мм) при наборі листів у пакети.

Режим емульгування у цій насадці створюють відхиленням у горизонтальних площинах пелюсток 6 під кутом угору. Висота шару газорідної емульсії залежить від витрат рідини і газу та від форми і кута відхилення пелюсток. Для пелюсток таких розмірів при щільності зрошення $\Gamma = 0,08$ кг/(м с) і відносній швидкості газу $w_{г,в} = 3,7$ м/с висота емульгованого шару була 40...60 мм і зростала до 190...230 мм при збільшенні швидкості газу до 4,3 м/с та до 400...450 мм при $w_{г,в} = 4,8$ м/с.

При підвищених щільностях зрошення емульгований шар утворюється за менших швидкостей газу і висота його зростає на більшу величину, ніж при

менших витратах рідини. При $\Gamma = 0,11$ кг/(м с) висота шару емульсії досягала 400 мм при $w_{г.в} = 3,7$ м/с і близько 700 мм — при $w_{г.в} = 4,1$ м/с. Верхній рівень емульгованого шару пульсує і при середній висоті шару 700 мм амплітуда пульсації становить приблизно 50...100 мм.

Висота емульгованого шару легко регулюється зміною витрат газу. Над емульгованим шаром і під ним зберігається режим краплинно-плівкової течії, тому в апаратах підвищеної висоти можна створювати потрібну кількість і висоту емульгованих зон. Наявність насадки в зонах емульгування сприяє додатковому диспергуванню газорідної емульсії і підвищенню інтенсивності масообміну.

Гідравлічний опір емульгованого шару приймає різні значення для кожного різновиду насадки. Загальний гідравлічний опір насадки за наявності зон емульгування між зонами краплинно-плівкової течії дорівнює сумі трьох складових:

- гідравлічного опору ділянок насадки з краплинно-плівковою течією $\Delta P_{кр.пл.}$;
- опору ділянок насадки, заповнених емульгованим шаром $\Delta P_{ем}$;
- місцевих опорів звужених перерізів насадки (у цьому разі — відхилених угору пелюсток) $\Delta P_{м}$:

де $h_{кр.пл.}$ і $h_{ем}$ — висота відповідно ділянок краплинно-плівкової течії та емульгованого шару, м.

$$\Delta P = \Delta P_{кр.пл.} h_{кр.пл.} + \Delta P_{ем} h_{ем} + \Delta P_{м}, \text{ Па,}$$

Питомий опір емульгованого шару описаної насадки становить близько 1700 Па/м, питомий гідравлічний опір зрошуваної насадки 180 Па/м, а опір решітки $\Delta P_{м} = 300$ Па. Ці значення отримані в діапазоні $0,08 \leq \Gamma \leq 0,11$ кг/(м с) і $3,7 \leq w_{г.в} \leq 4,4$ м/с і справджуються з точністю $\pm 10\%$.

Наприклад, гідравлічний опір описаної насадки висотою 1 м, на якій підтримується зона емульгування висотою 0,4 м дорівнює:

$$\Delta P = 180 \cdot 0,6 + 1700 \cdot 0,4 + 300 = 1110 \text{ Па.}$$

На рис. 2 подано фрагмент розробленої і дослідженої перфорованими зубчастими отворами насадки з Z-подібними гофрами.

На рис. 2 подано фрагмент розробленої і дослідженої перфорованими зубчастими отворами насадки з Z-подібними гофрами.

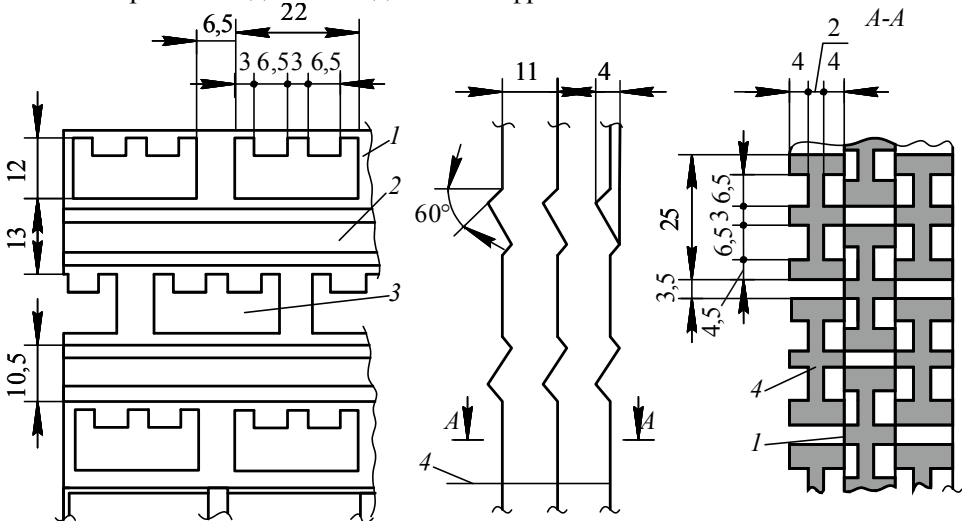


Рис. 2. Фрагмент перфорованої гофрованої насадки з відігнутими горизонтально пелюстками: 1 — лист насадки; 2 — горизонтальний Z-подібний гофр; 3 — зубчастий отвір (перфорація); 4 — відігнута пелюстка

Насадка складається з набраних у пакети листів 1, перфорованих виштампованими зубчастими отворами 3, розміщеними в шаховому порядку горизонтальними рядами, і має горизонтальні гофровані ділянки 2 між рядами отворів. Під час роботи насадки рідина надходить згори, а газова фаза рухається знизу. Стікаючи поверхнею листів насадки, рідина на нижніх краях зубців отворів утворює краплі (або окремі струмінці — при більших щільностях зрошення), які відриваються від зубців і після падіння на листи розплющуються у плівки і розтікаються на виступах гофрів, потім знову стікають на зубці отворів з подальшим утворенням крапель (і струмінців).

Оптимальна ефективність масообміну в разі краплинно-плівкової течії досягається, якщо розміри відповідних конструкційних елементів насадки узгоджуються з величиною капілярної сталої (константи Лапласа):

$$a = \sqrt{2\sigma/(\Delta\rho \cdot g)},$$

де σ — коефіцієнт поверхневого натягу на міжфазній поверхні газ-рідина, Н/м; $\Delta\rho$ — різниця густин рідини і газу, кг/м³; g — прискорення вільного падіння, м/с².

Наприклад, для абсорбції водою домішок газу із газоповітряної суміші за нормальних умов $a = \sqrt{2 \cdot 72,3 \cdot 10^{-3} / (1000 - 1,3) \cdot 9,81} = 3,8$ мм.

У дослідженій насадці крок між листами товщиною 1 мм дорівнює 11 мм, зазор між листами 10 мм, ширина зубців отворів 6,5 мм, глибина — 4 мм, загальний розмір виступів гофрів в обидві сторони від листа насадки 4 мм, що забезпечує стабільне утворення і розплющення крапель та високу ефективність масообміну без великого зростання гідравлічного опору.

Між горизонтальними рядами отворів виконували перфоровану решітку, шляхом відгинання у горизонтальне положення пелюсток, утворених просіканням з трьох сторін отворів, з дотиканням до сусідніх листів. Кожна відігнута пелюстка розміром 25·10 мм мала по 4 прямокутні отвори перерізом 6,5·4 мм. Зазор між відігнутими пелюстками у горизонтальних рядах дорівнює 3,5 мм (див. переріз А-А на рис. 2). З метою зменшення гідравлічного опору перфоровані решітки повинні мати якнайбільший вільний переріз, принаймні 50% від площі перерізу насадки, а отвори в решітці, з метою запобігання затягуванню їх плівкою і відповідного зростання опору на її руйнування, повинні перевищувати капілярну сталу.

У насадці площа однієї комірки, зайнятої відігнутою пелюсткою з кроком 28,5 мм, дорівнює 28,5·10=285 мм², а загальна площа отворів (відстань між відігнутими пелюстками 3,5 мм, розмір кожного з 4 отворів 6,5·4 мм) дорівнює 3,5·10+4·6,5·4 = 139 мм². Відносна площа вільного перерізу отворів для одночасного проходження крізь них газової фази і стікаючої рідини складає (139/285)100 = 49%, що допустимо, виходячи з умов достатньої жорсткості насадки при максимальному вільному перерізі.

Після подачі достатньої кількості газу і зрошувальної рідини на решітці утворювався шар газорідинної емульсії. Збільшення витрат кожної з фаз (або обох фаз одночасно) супроводжувалось зростанням висоти емульгованого шару.

У колоні з гофрованою насадкою ГН емульгований шар висотою 40...60 мм утворювався при відносній швидкості газу 3,9...4,6 м/с. У цілому емульгований шар утворювався при тих же витратах рідини й газу, що і в насадці з пелюстками НП, але висота його при підвищенні витрат фаз зростала повільніше.

Гідравлічні опори емульгованого шару в ГН за однакових висот шару були на 15...20% нижчі, ніж в НП.

Порівнюючи ефективність масообміну обох насадок можна відмітити, що при однаковій висоті емульгованого шару ефективність масообміну як у рідкій, так і в газовій фазі в НП була на 15...20% вищою, ніж у ГН. Це можна пояснити тим, що пелюстки інтенсивніше змінюють напрям течії потоків, краще їх диспергують і турбулізують, ніж гофри невеликої висоти.

Характеристики ГН при масообміні в обох фазах більш стабільні і менше змінюються при зміні витрат потоків. Ефективність НП в цілому дещо вища, ніж ГН і швидше зростає з підвищенням витрат фаз.

У високих апаратах доцільно організувати не одну, а кілька перфорованих решіток на певній відстані між ними і підтримувати на кожній з них потрібну висоту емульгованого шару, в той час як над шаром і під ним буде утримуватись режим краплинно-плівкового контактування фаз. Це дасть змогу розширити діапазон регулювання ефективної роботи апаратів.

Висновки

В апаратах з регулярними насадками можна досить легко створювати локальні зони емульгованого шару відгинанням у горизонтальних перерізах колон під певним кутом або в горизонтальне положення просічених елементів листів насадки. При цьому над емульгованим шаром і під ним зберігається робота насадки у звичайному протитечійному режимі з плівковою або краплинно-плівковою течією.

У межах емульгованого шару потоки інтенсивно турбулізуються, внаслідок чого у кілька разів збільшується інтенсивність масообмінних процесів. Газорідинна емульсія на решітках розподіляється досить рівномірно, тому при використанні зон емульсованого шару не потрібно встановлювати перерозподільвачі зрошувальної рідини.

Застосування зон емульгування дає змогу значно розширити діапазон використання регулярних насадок для роботи в інтенсивних режимах.

Література

1. Кафаров В. В. Основы массопередачи. М.: Высшая школа. 1979. 439 с.
2. Марценюк О. С., Мельник Л. М. Процеси і апарати харчових виробництв: Підруч. К.: НУХТ, 2011. 407 с.
3. Пленочная тепло- и массообменная аппаратура (Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии) / Под ред. В. М. Олевского. М.: Химия, 1988. 240 с.
4. Декларацийний патент на корисну модель UA 11669 Україна. МПК (2006) B01J 19/32/ Регулярна насадка з зубчастими отворами/ Марценюк О. С. Опубл. 16.01.2006, Бюл. № 1.
5. Декларацийний патент на корисну модель 10386 Україна. МПК B01J 19/32/ Регулярна насадка з зубчастими отворами і гофрами/ Марценюк О. С. Опубл. 15.11.2005, Бюл. № 11.
6. Авторское свидетельство СССР SU 1311767 A1. Кл. B01D 53/20/ Регулярная насадка для теплообменных аппаратов / Марценюк А. С. Опубл. 23.05.87, Бюл. №19; Авторское свидетельство СССР SU 1327939 A1. Кл. B01D 53/20 / Регулярная насадка для теплообменных аппаратов с пленочно-капельным течением дисперсной фазы / Марценюк А. С. Опубл. 07.08.87, Бюл. № 29.
7. Авторское свидетельство СССР SU 1291191 A1. Кл. B01D 53/20/ Регулярная насадка / Марценюк А. С. Опубл. 23.02.87, Бюл. № 7.

CRYOGENOUS DAMAGES IN FRUIT AND BERRIES AND THE METHODS OF CELLULAR STRUCTURES PROTECTION DURING FREEZING

G. Simakhina

National University of Food Technologies

Key words:

*Fruit and berries
Cellular structures
Freezing
Cryogenous damages
Cryoprotection
Means for cryoprotection*

Article history:

Received 07.07.2020
Received in revised form
21.07.2020
Accepted 04.08.2020

Corresponding author:

G. Simakhina
E-mail:
top_nuft@ukr.net

ABSTRACT

It is highly expedient either to process just harvested fruit and berries into final products, or to freeze them in order to retain fully their complex of biologically active substances. In other words, the purpose of freezing, as well as of any other method of preservation, is to minimize or at least retard the reactions that would worsen the quality of products and, finally, make them unfit for consumption. In particular, freezing allows overcome the development of microorganisms and avoid the biochemical transformations triggered by enzymes. Freezing is the perfect method of fruit and berry preservation from the viewpoint of both innovative technologies and safety of foodstuffs obtained.

There is only one regularity for all the biological objects, including fruit and berries: their cells may ruin in case the temperatures are zero of the centigrade and thereafter fall lower. This phenomenon may be categorized into damages (which are caused by an array of processes within cellular membrane during temperature shock increase) and cellular decay (which is a consequence of rapid freezing, when the intercellular liquid is crystallized and the cells are affected with the crystals). Should the frozen products contain many ruined cells, then defrosting may lead to losses of cellular juice, lower product quality and the fall of biological value. Therefore, it would be impossible to obtain good foodstuffs even from high-quality raw materials.

The results of numerous researches in the field of cryobiology accomplished by Ukrainian and foreign authors have in common the following: the crucial role in gaining cryoresistance of biological objects belong to natural cryoprotectors that comprise the main classes of organic and mineral substances (sugars, fats, alcohols etc.).

КРІОУШКОДЖЕННЯ ПЛОДІВ ТА ЯГІД І МЕТОДИ ЗАХИСТУ КЛІТИННИХ СТРУКТУР ПРИ ЗАМОРОЖУВАННІ

Г. О. Сімахіна

Національний університет харчових технологій

Зібрані плоди та ягоди доцільно відразу переробляти на готові продукти або заморожувати для повного збереження цінного комплексу біологічно активних речовин. Тобто мета заморожування, як і будь-якого іншого способу консервування, полягає в тому, щоб звести до мінімуму або хоча б сповільнити реакції, що погіршують якість продуктів і, врешті, роблять їх непридатними до вживання. Зокрема, заморожування дає змогу подолати розвиток мікроорганізмів і запобігти біохімічним перетворенням, що викликаються ферментами. Лише метод консервування плодово-ягідної продукції холодом є найбільш досконалим як з точки зору інноваційної технології, так і з позицій безпеки отриманої харчової продукції.

Для всіх біологічних об'єктів, зокрема й для плодово-ягідної сировини, існує одна закономірність — при охолодженні до 0°C і нижче під впливом від'ємних температур клітини можуть руйнуватись. У цьому явищі варто розрізняти як ушкодження, пов'язані з комплексом процесів у мембрані і клітині при розвитку температурного шоку, так і руйнування клітин, яке відбувається, коли при швидкому охолодженні кристалізується внутрішньоклітинний розчин і клітини руйнуються утвореними кристалами. Якщо заморожені продукти міститимуть багато зруйнованих клітин, то при дефростації втрачається клітинний сік, якість продукту погіршується, біологічна цінність різко падає. І навіть із найбільш якісної сировини неможливо отримати ідентичні продукти.

Результати численних досліджень у галузі кріобіології, виконаних вітчизняними і зарубіжними авторами, зводяться до одного висновку: у кріорезистентності біологічних об'єктів вирішальну роль відіграють захисні сполуки (цукри, жири, спирти) — кріопротектори, які охоплюють основні класи органічних і мінеральних сполук.

Ключові слова: *плодово-ягідна сировина, клітинні структури, заморожування, кріоушкодження, кріозахист, кріопротектори.*

Постановка проблеми. Останні кілька років асортимент замороженої плодово-ягідної продукції на вітчизняному ринку постійно розширюється [1], а попит на неї, за прогнозами аналітиків, щороку збільшується на 15—20%. Це пояснюється зростанням культури харчування населення, прагненням до здорового способу життя, а відтак, до здорового харчування, основою якого є плоди, ягоди, овочі.

Збільшення попиту на заморожені напівфабрикати з цієї сировини визначається також постійно зростаючою тенденцією до розширення мережі готельно-ресторанного та громадського харчування. В період, коли немає свіжої сировини (а це понад 6 місяців щороку), саме заморожені плодово-ягідні напівфабрикати

стають основою для виробництва холодних закусок, гарячих страв, десертів, салатів, оздобы для кондитерських виробів, наповнювачів для кисломолочних продуктів, морозива; сировиною для отримання соків, морсів, напоїв тощо. Використання заморожених плодово-ягідних напівфабрикатів на підприємствах, у закладах ресторанного та громадського харчування має багато й інших переваг як з точки зору якості та безпеки замороженої продукції, так і щодо економічної складової.

Незважаючи на такі очевидні переваги виробництва та реалізації заморожених плодів та ягід, їхній ринок зростає значно повільніше, ніж овочів, оскільки отримана за традиційними технологіями плодово-ягідна продукція значно поступається свіжій сировині і за органолептичними показниками, і за якістю та безпекою. Недоліки традиційних технологій заморожування і в тому, що особливості структурних характеристик плодів та ягід [2] робить їх недостатньо стійкими до ушкоджуючої дії утворених кристалів льоду, тому й зниження якості такої продукції після дефростації виражено набагато істотніше, ніж для овочів. Це ж стосується втрати замороженими за існуючими технологіями плодами і овочами натурального кольору, аромату, смаку, а саме таким характеристикам приділяють найбільшу увагу споживачі [3].

Особливих умов вимагає заморожування ягід, зважаючи на їхню ніжну текстуру, істотні ушкодження і руйнування мембран клітин при кристалоутворенні. За існуючих технологій цей процес проходить дуже повільно, сприяючи формуванню великих кристалів льоду, які й руйнують клітини рослинних об'єктів, викликаючи істотні втрати клітинного соку при дефростації заморожених матеріалів [4], а отже, зниження їхньої біологічної цінності стосовно свіжої сировини.

Особлива увага приділяється розробленню нових, більш досконалих способів заморожування, зберігання та дефростації плодів, овочів, фруктів, які забезпечували б максимальне збереження у цільових продуктах усіх цінних біокомпонентів сировини, їхню повну безпеку для споживачів і високу ефективність. До таких інноваційних підходів слід віднести ряд нових методів швидкого заморожування [5; 6]; заморожування після часткової дегідратації води [7], що сприятливо впливає на збереження текстури рослинних тканин; попереднє осмотичне зневоднення ягід розчином сахарози перед заморожуванням, що підвищує якість продукції, оброблення ягід антиоксидантами для тривалого зберігання, оброблення зелених овочів композиціями антиоксидантів перед низькотемпературним зберіганням, розроблення комплексу кріозахисту рослинної сировини при холодильному консервуванні [8] тощо. Саме останній спосіб викликає найбільший інтерес, оскільки надає можливість запобігти кріоушкодженням рослинних клітин при заморожуванні, забезпечуючи високу якість заморожених напівфабрикатів при зберіганні та дефростації.

У промисловості зараз широкого розповсюдження набуло швидке або шокове заморожування плодовоовочевої сировини. Порівняно з традиційними технологіями, такий спосіб має певні переваги. Разом із тим практичний досвід показує, що одного лише швидкого або навіть шокового заморожування матеріалів недостатньо для отримання високоякісної плодово-ягідної продукції, яка після дефростації була б максимально ідентичною за всіма показниками свіжій сировині. Саме з'ясуванню цього явища присвячено цю статтю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для пояснення зазначених явищ зарубіжні і вітчизняні фахівці в галузі кріоконсервування клітинних суспензій

тканин та органів (Б. Люйє, Дж. Шерман, Т. Ней, А. Сміт, Дж. Левітт, П. Мейзур, Л. К. Лозина-Лозинський, А. М. Білоус, М. С. Пушкар, Є. А. Гордієнко, В. І. Гриценко) ввели поняття кріоушкодження клітин і клітин структур.

У [9] наведено таке визначення: «Під кріоушкодженням слід розуміти структурно-функціональні зміни при зниженні температури нижче рівня, до якого адаптований біологічний об'єкт, тобто процеси, що відбуваються в клітинах або тканинах в циклі їх низькотемпературного консервування».

Згідно з цим визначенням, на біооб'єкти в процесі заморожування негативний вплив справляють кристали льоду, надмірна дегідратація, гіперконцентрування солей, зміни рН тощо. Вивчення ролі кожного з цих чинників у кріоушкодженні клітин і тканин привело до появи численних концепцій та гіпотез, що по-різному трактують механізм дії того чи іншого ушкоджуючого чинника та його роль у руйнуванні структур біооб'єкта при заморожуванні-відігріванні.

В ушкодженні клітин, викликаних кристалізацією, на перших етапах досліджень основну увагу приділяють позаклітинному льоду. Однак суперечливість результатів і висновків щодо його ролі залишається нез'ясованою і досі [10]. А подальші дослідження показали, що кристали льоду можуть утворювались не лише в міжклітинному просторі, а й усередині клітин [11].

За дослідженнями П. Мейзура внутрішньоклітинна кристалізація відбувається, коли клітина переохолоджена до температури, за якої у протоплазмі виникають осередки кристалів критичного розміру і міститься вільна вода. К. Діллер не лише підтверджує ці результати, а й уточнює, що виникненню кристалів всередині клітин можна запобігти, коли внутрішньоклітинний розчин при заморожуванні знаходиться в стані малих переохолоджень. А це досягається лише завдяки повільному зниженню температури. І якщо ймовірність внутрішньоклітинної кристалізації дорівнює нулю при повільному заморожуванні, то вона досягає одиниці (максимуму) — при швидкому [12].

Цей висновок дає цілком об'єктивне пояснення тому фактові, що швидке і шокове заморожування, створюючи умови для утворення дрібнокристалічного льоду при заморожуванні плодової сировини, все ж допускає наявність кріоушкоджень мікроструктур біологічних об'єктів. Це відбувається за рахунок того, що при швидкому заморожуванні клітина не встигає зневоднитись і відбувається кристалізація внутрішньоклітинного розчину.

Мета статті: узагальнення сучасних відомостей у галузі кріобіології та медицини з точки зору можливості кріозахисту біологічних структур, у тому числі плодів і ягід, при заморожуванні шляхом попереднього оброблення матеріалів розчинами індивідуально підібраних кріопротекторів для вдосконалення існуючих технологій швидкого заморожування сировини.

Викладення основних результатів дослідження. З наведеного огляду літературних джерел зрозуміло, що для всіх біологічних об'єктів, у тому числі й для плодово-ягідної сировини, існує одна закономірність: при охолодженні до 0°C і нижче під впливом від'ємних температур клітини можуть руйнуватись. У цьому явищі варто розрізняти як ушкодження, пов'язані з комплексом процесів у мембрані і клітині при розвитку температурного шоку [8], так і руйнування клітин, пов'язані з дією від'ємних температур. В останньому випадку це відбувається, коли кристалізується поза- і внутрішньоклітинний розчин, а клітини руйнуються утвореними кристалами.

Для нас важливим є саме цей випадок, оскільки у зруйнованих клітинах інтенсивно діють пероксидази, а найголовніше полягає в тому, що заморожені продукти перед вживанням або подальшим переробленням піддаються розморожуванню (дефростації). І якщо заморожені продукти міститимуть багато зруйнованих клітин, то при дефростації втрачається клітинний сік, якість продукту погіршується, біологічна цінність різко падає. І навіть із найбільш якісної сировини неможливо отримати ідентичні продукти.

Провідні вітчизняні кріобіологи Є. Гордієнко та інші називають виникнення і ріст внутрішньоклітинних кристалів летальними чинниками для клітин, тож радять на практиці здійснювати різні багатоетапні програми заморожування, спрямовані на поступове зневоднення клітин і зниження таким чином ушкоджуючої дії фізико-хімічних чинників на біооб'єктів. З цією ж метою автори при консервуванні матеріалів досягли можливості загальмувати розвиток утворення кристалів всередині клітин, заморожуючи біооб'єкти під захистом різних сполук, названих кріопротекторами, які сприяють модифікації структури рідкої фази і характеру її кристалоутворення [13]. Саме цей спосіб ми використали для вдосконалення технології заморожування плодово-ягідної сировини, оскільки незалежно від механізму руйнування клітин їхньої цілісності можна досягти за допомогою кріопротекторів.

У [9] зазначається: «Кріопротекторами називають сполуки, які здатні запобігати розитковій ушкодженню біологічних об'єктів при їх заморожуванні і подальшому відігріванні». Загальними властивостями кріопротекторів дослідники вважають наявність у їхній структурі полярних молекул, здатних взаємодіяти як із молекулами води, металами, солями, так і з компонентами мембран і біополімерами. Важливою властивістю кріопротекторів є також їхня здатність впливати на процеси кристалізації, сприяючи формуванню дрібнокристалічного льоду, якому не властиві сильні поля напруги. Зміна структури льоду під дією кріопротекторів знижує ступінь механічного впливу на цитоплазматичні структури мембрани.

За наявності кріопротектора виморожування фракції води з кріозахисного середовища перебігає в широкій температурній зоні й завершується при концентрації невимерзлої води до 20...30%. При збільшенні вихідного (до заморожування) вмісту кріопротектора у середовищі зв'язування солей та інших речовин збільшується, що перешкоджає їх концентруванню до критичних, згубних для клітини величин.

Отже, за наявності кріопротекторів солі або зовсім не концентруються до ушкоджуючих меж, або ж ці межі досягаються в зоні температур, при яких ушкодження розвиваються повільно.

За літературними даними, найбільш дослідженими є кріопротектори [14]. З групи одноатомних спиртів — етанол; з групи багатоатомних спиртів — гліцерин, сорбіт; з групи вуглеводів — глюкоза, фруктоза, сахароза, лактоза; з групи оксидів — диметилсульфоксид (ДМСО); з групи амінокислот — гліцин; з групи органічних кислот — лимонна; з групи полімерних сполук — декстрин, гідроксиетилкрахмаль (ГЕК); з групи білків — желатин; з групи солей — хлористий магній, сульфат натрію, цитрати натрію і калію. Також ефективним є використання комбінації кріопротекторів із числа перерахованих.

Отже, наведені кріопротектори охоплюють основні класи органічних і мінеральних сполук, кріозахисну дію яких при заморожуванні клітин і тканин людини

і тварин досліджували відомі зарубіжні та вітчизняні вчені, починаючи з 50-х років минулого століття (A. Cargow, J. Lovelock, J. Dobbler, J. Rostan, K. Polge, Au. Smith, D. Bishop, D. Robson, M. Whither, М. Максимов, А. Бернштейн, О. Білоус, В. Грищенко, М. Пушкар).

Дж. Лавлок (1954) запропонував класифікувати відомі на той час кріопротектори на непроникаючі (екзоцелюлярні), проникаючі (ендоцелюлярні) та змішаного типу. Непроникаючі протектори діють ззовні клітин, утворюючи навколо плазматичної мембрани своєрідну оболонку і сприяючи таким чином формуванню дрібнокристалічного льоду.

Проникаючі кріопротектори викликають зв'язування частини поза- і внутрішньоклітинної фракції вільної води, внаслідок чого її кристалізація сповільнюється, а концентрація електролітів поза і всередині клітини знижується. У зв'язку з цим проникаючі кріопротектори називають пасиваторами процесу ініціювання кристалоутворення.

До проникаючих у клітину сполук відносять гліцерин, диметилсульфоксид, представників одно- та багатоатомних спиртів, деякі із низькомолекулярних цукрів, наприклад, глюкозу. До непроникаючих — аміди кислот, високомолекулярні сахариди, білки, полімерні сполуки. І як уже зазначалося, загальною властивістю і проникаючих, і непроникаючих кріопротекторів є їхня здатність сприяти утворенню дрібнокристалічного льоду і запобігати можливості внутрішньоклітинної кристалізації води.

Однак механізм захисної дії кріопротекторів вивчено недостатньо. Інформація про те, що і як має змінюватись у клітинах біооб'єктів, постійно поповнюється новими даними, в основному в галузях кріобіології та кріомедицини.

Ці дослідження показали, що захисні сполуки використовують у складі кріозахисних середовищ — водних розчинів кріопротекторів [14], а вибір кріопротекторів для кожної клітинної фракції необхідно проводити індивідуально, оскільки універсальних принципів підбору або синтезу кріопротектора із заданими властивостями досі не існує.

Обираючи кріопротектори для попереднього оброблення плодів та ягід перед заморожуванням, ми виходили із встановлених на основі огляду літературних джерел рекомендацій щодо необхідності підбору кріозахисних сполук для кожного предмета дослідження індивідуально. Чутливість клітин і тканин різних плодів та ягід є різною до впливу низьких температур (і пов'язаних з ними фізичних і механічних процесів), а від вдалого вибору кріопротектора, його концентрації, тривалості контакту із заморожуваними матеріалами безпосередньо залежить якість і споживчі характеристики отриманої продукції [8].

Вище зазначалося, що спосіб швидкого заморожування не гарантує високої якості отриманих продуктів, особливо після їх дефростації. Причини цього: частковий перерозподіл вологи при заморожування; внутрішньоклітинна кристалізація води, летальна для клітин; травмування мікроструктури об'єктів кристалами льоду. І лише використання кріопротекторів як засобів запобігання кріоушкодженню клітин надає можливість захистити їх від руйнівної дії кристалів льоду, мінімізувати втрати клітинного соку при дефростації, забезпечуючи загалом високі біологічні та споживчі характеристики заморожених напівфабрикатів.

Щоправда, такий підхід до технологій заморожування досі не знайшов розповсюдження у вітчизняних харчових технологіях та й за кордоном. Лише дослідження одеських науковців [15] орієнтовані на розроблення методів кріозахисту.

Методи кріопротекції виявилися ефективними і для захисту дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* [16]. Як кріопротектори обрано диметилсульфоксид і гліцерил. Підвищення життєдіяльності дріжджових клітин встановлено їх озонуванням до та після кріоконсервування.

Фахівці інституту проблем кріобіології та кріомедицини (Харків) з'ясували, що при заморожуванні еритроцитів, попередньо оброблених кріопротекторами, забезпечується висока стабільність еритроцитів у процесах заморожування-відтаювання, адже зберігаються їхні осмотичні, антиоксидантні та морфологічні властивості. Це виявилось особливо ефективним при використанні комбінації кріопротекторів — проникаючих і непроникаючих [13].

Як бачимо, основний внесок у вивчення механізмів кріоушкоджень клітин біологічних об'єктів, як і раніше, роблять фахівці в галузі кріобіології та кріомедицини. Та оскільки природні біологічні об'єкти у медицині та сільськогосподарській сировині мають подібний хімічний склад і будову клітин, зрозумілою є обґрунтованість та доцільність використання набутого вченими-кріобіологами досвіду в харчових технологіях. І оскільки таких спроб поки що дуже мало, то кожне дослідження в цьому напрямі сприятиме розвитку та застосуванню нових ефективних методів заморожування, основним призначенням яких є збереження у цільовому продукті максимальної кількості біокомпонентів рослинної сировини.

Висновки

У цілому в розвинених країнах накопичено значний теоретичний і практичний досвід виробництва швидкозаморожених продуктів. В Україні низькотемпературні технології швидкозамороженої харчової продукції не досягли ще бажаного рівня як за обсягами виробництва, так і за його апаратурним обладнанням.

При заморожуванні біологічних об'єктів згубними чинниками для клітин є виникнення і ріст внутрішньоклітинних кристалів льоду, тому в практичних умовах кріоконсервування клітинних суспензій людини і тварин, різноманітних тканин і органів, репродуктивних клітин рослин тощо застосовують багатоступінні програми заморожування, спрямовані на поступове зневоднення клітин і зниження рівня ушкоджуючого впливу фізико-хімічних чинників на біооб'єкти.

З цією ж метою широкого розповсюдження набуло використання різноманітних складних середовищ, кріопротекторів, мембранних і метаболічних стабілізаторів. Тому перспективним є застосування в холодильних технологіях недорогих і ефективних кріопротекторів (у тому числі природних), здатних підтримувати цілісність клітин плодоовочевої сировини в циклах заморожування-зберігання-відігрів, що забезпечує високу якість і біологічну цінність харчової продукції.

Заморожування рослинних матеріалів під захистом кріопротекторів відчутно гальмує розвиток внутрішньоклітинного льодоутворення, оскільки кріопротектори здатні модифікувати структуру рідкої фази і характер кристалізації

води. Завдяки цьому лід, який формується, має дрібнокристалічну структуру зі слабкими полями напруженості й нездатний руйнувати рослинні клітини.

Подальший прогрес у галузі розроблення холодкових технологій для харчової промисловості, пов'язаних із заморожуванням біологічних об'єктів різного ступеня складності під захистом штучних і природних кріопротекторів, здійснюється на основі вивчення як механізмів кріоушкоджень тканин рослинної сировини та методів щодо їх запобігання, так і особливостей взаємодії біокомпонентів сировини з кріопротекторами на молекулярному і клітинному рівнях.

Література

1. Шубина Г. Рынок замороженных полуфабрикатов. *Продукты & Ингредиенты*. 2012. № 8(94). С. 14—17.
2. Сербін А. Г., Сіра Л. М., Слободянюк Т. О. Фармацевтична ботаніка: підруч. для вузів. Вінниця: Нова Книга, 2015. 488 с.
3. Цапалова И. Э., Губина М. Д., Голуб О. В., Позняковский В. М. Экспертиза дикорастущих плодов, ягод и травянистых растений. *Качество и безопасность: учебник*. Москва: ИНФРА-М, 2017. 463 с.
4. Смит О. Биологическое действие замораживания и переохлаждения / пер. с англ. Москва: Изд-во иностранной литературы, 2003. 272 с.
5. Антонов А. А., Венгер К. П. Технико-экономическая оценка работы скороморозильных аппаратов. *Мясная индустрия*. 2002. № 7. С. 45—47.
6. Ручьев А. С. Совершенствование производства быстрозамороженной растительной продукции с использованием жидкого и газообразного азота: диссертация канд. техн. наук: 05.18.04. Москва, 2003. 152 с.
7. Белінська С., Клячин І. Трансформація форм води при зберіганні та заморожуванні квасолі стручкової овочевої. *Товари і ринки*. 2015. № 1. С. 154—162.
8. Українець А. І., Сімахіна Г. О., Науменко Н. В., Камінська С. В. Заморожені плодово-ягідні напівфабрикати: якість, ефективність, безпека: монографія. Київ: Видавництво «Сталь», 2019. 324 с.
9. Белоус А. М., Грищенко В. И. Криобиология. Киев: Наукова Думка, 1994. 430 с.
10. Minetti M., Seccarini M., Maria A., Di Stasi M. Role of membrane thermotropic properties on hypotonic hemolysis and hypertonic cryohemolysis of human red blood cells. *I. Cells. Biochem.* 1984. № 25. P. 61—72.
11. Stiles W. On the cold death on plants. *Protoplasma*. 1988. № 9. P. 459—468.
12. Diller K. R. Intracellular freezing: effect of extracellular supercooling. *Cryobiology*. 1987. № 4. P. 69—81.
13. Гордиенко Е. А., Осецкий А. И., Розанов Л. Ф. Научное обоснование способов низкотемпературного консервирования клеточных суспензий. *Проблемы криобиологии*. 1997. № 1—2. С. 67—71.
14. Пушкарь Н. С., Шраго М. И., Белоус А. М. Кріопротектори. Киев: Наук. думка. 1999. 204 с.
15. Доценко Н. В. Проблеми захисту рослинної сировини за допомогою кріопротекції. *Зб. наук. праць ОДАХТ*. Вип. 18. 1998. С. 38—41.
16. Рамазанов В. В., Дейнеко Т. И., Воловельская Е. Л., Коптелов В. А., Бондаренко В. А. Свойства эритроцитов, замороженных в комбинированной среде с полиэтиленгликолем и диметилсульфоксидом. *Biotechnologia Acta*. 2012. Т. 5, № 2. С. 106—114.

CALCULATING METHODS OF FAO/WHO FOR THE ESTIMATION OF QUALITY OF DIETARY PROTEIN

V. Makhynko, L. Makhynko

National University of Food Technologies

Key words:

*Amino acids
The reference protein
Biological value
Digestibility
Calculation
DIAAS
PDCAAS*

Article history:

Received 15.07.2020
Received in revised form
29.07.2020
Accepted 13.08.2020

Corresponding author:

V. Makhynko

E-mail:

mavam78@gmail.com

ABSTRACT

Consuming a sufficient amount of protein is an important parameter of a balanced human diet. However, the quality of the consumed protein determined by content of essential amino acids should also be taken into account. Clinical studies to determine the quality of protein take a lot of time and require significant financial costs and resources. A much more promising way is to estimate biological value of protein by comparing its amino acid formula with amino acid content in the reference (perfect) protein.

The purpose of the work was to compare the results obtained by classic and modern methods of calculating the quality of dietary protein. The article provides examples of the calculation and the results of calculating the quality of protein contained in the mixture of wheat and corn flour. The obtained results confirmed that the application of the calculation method most commonly used today for evaluating the quality of food protein is the amino acid score calculation (which does not consider the overall protein digestibility and the bioavailability of certain essential amino acids)/ It leads to significant overestimate of forecast biological value of food products and diets. The introduction of the adjustment for digestibility according to the PDCAAS method has led to 6% decrease of the studied parameter compared to the results obtained by the classic method. And the biological value of the protein in the mixture under study calculated by the DIAAS method was less than the amino acid score determined by the classic method by 8%, and less than the PDCAAS value by 2%. The bioavailability of certain amino acids has also decreased by 18...19%. The PDCAAS and DIAAS methods are known to ensure the results close to that of biomedical studies, so it is necessary to use them as wide as possible to improve the existing food products and diets or to develop new ones.

РОЗРАХУНКОВІ МЕТОДИКИ ФАО/ВООЗ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ХАРЧОВОГО БІЛКА

В. М. Махинько, Л. В. Махинько

Національний університет харчових технологій

Якість спожитого білка визначається вмістом незамінних амінокислот, тому перспективним є розрахункове оцінювання біологічної цінності білка шляхом зіставлення його амінокислотної формули з вмістом амінокислот в еталонному (ідеальному) білку.

У статті проведено порівняння результатів, одержаних класичною та сучасними методиками розрахунку якості харчового білка. Наведено приклади розрахунку та результати обчислення якості білка, що міститься в суміші пшеничного та кукурудзяного борошна. Використовується класична методика розрахунку амінокислотного числа, а також найсучасніші методики PDCAAS (protein digestibility corrected amino acid score) та DIAAS (digestible indispensable amino acid score), які враховують рівень засвоюваності білка та ступінь біодоступності амінокислот.

Одержані результати свідчать, що використання найпоширенішої на сьогодні розрахункової методики оцінювання якості харчового білка — обчислення амінокислотного числа (без урахування величин загальної засвоюваності білка та біодоступності окремих незамінних амінокислот) призводить до суттєвого перевищення прогнозованої величини біологічної цінності продуктів і раціонів. Внесення поправки на засвоюваність за методикою PDCAAS призвело до зниження досліджуваного показника порівняно з результатами, отриманими за класичною методикою, на 6%. Розрахунковий показник біологічної цінності білка досліджуваної суміші, визначений за методикою DIAAS, на 8% менший за показник амінокислотного числа (класична методика) і на 2% — за показник PDCAAS. Також спостерігається зниження величини біодоступності окремих амінокислот на 18...19%. Оскільки відомо, що методики PDCAAS і DIAAS забезпечують одержання результатів, близьких до медико-біологічних досліджень, слід прагнути до якомога ширшого їх використання для удосконалення існуючих чи розроблення нових харчових продуктів і раціонів.

Ключові слова: амінокислоти, еталонний білок, біологічна цінність, засвоюваність, розрахунок, DIAAS, PDCAAS.

Постановка проблеми. Білок є невід'ємною складовою повноцінного харчування людини. Тривале недостатнє споживання білка може стати причиною хронічних захворювань, адже більшість біологічно активних складових нашого організму мають білкову природу (гормони, ферменти, антитіла тощо). Подібні негативні зміни можуть бути викликані й ситуацією, коли кількість спожитого білка є достатньою, але організм людини відчуває наслідки білкової недостатності, зумовлені низькою якістю харчового білка (низький або незбалансований вміст незамінних амінокислот, знижена засвоюваність білка). Саме тому більшість країн в обов'язковому порядку розробляють і законодавчо закріплюють

норми споживання білка. На міжнародному рівні цією роботою займається Комітет експертів ФАО/ВООЗ. Зазвичай, кожні десять років вони збираються на чергове засідання, щоб переглянути уявлення щодо норм споживання білка та його якості на основі останніх наукових даних.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Уперше питаннями виключно білкової складової харчування людини займалася група експертів ФАО, скликана ще 1957 року. Тоді прийняли рішення, що жоден з природних продуктів не може бути прийнятий за еталонне джерело білка, тому було розроблено формулу еталонного білка, яка переглядалася кілька разів. Останній варіант формули запропоновано у 2011 р. [1]. На засіданні Спеціального об'єднаного комітету експертів ФАО/ВООЗ у 1971 р. запропоновано оцінювати якість білка, порівнюючи його амінокислотний склад з вмістом відповідних амінокислот в еталонному білку — розраховувати амінокислотне число (амінокислотний скор) [2]. Ця методика набула широкої популярності й до сьогодні використовується у деяких непрофільних наукових дослідженнях. Однак новітні медико-біологічні дослідження показали недосконалість подібних розрахунків, оскільки було встановлено факт впливу на біологічну цінність білка як його загальної засвоюваності, так і біодоступності окремих амінокислот. Тому вже на Консультативних зборах експертів ФАО/ВООЗ у 1989 р. запропоновано уточнену методику оцінювання якості харчового білка з урахуванням його засвоюваності (PDCAAS — protein digestibility corrected amino acid score) [3]. Розвиток новітніх методів досліджень (насамперед використання стабільних ізотопів і капілярного електрофорезу) дав змогу встановити нові дані щодо засвоюваності не лише в загальному білка, але й кожної з амінокислот, що входять до його складу. Тому учасники Консультативної наради ФАО, що зібралися в 2011 р., запропонували оновлену методику визначення біологічної цінності білка — DIAAS (digestible indispensable amino acid score). Згідно з цією методикою, оцінювання якості харчового білка повинно проводитися шляхом порівняння з амінокислотною формулою еталонного білка лише біологічно засвоюваної кількості спожитих з харчовим білком амінокислот [1].

Метою дослідження є порівняння результатів розрахункового оцінювання якості харчового білка за трьома методиками (розрахунок амінокислотного числа, показників PDCAAS і DIAAS).

Матеріали і методи. Об'єктом розрахунків обрано суміш борошна пшеничного та борошна кукурудзяного у співвідношенні 90:10, що використовується в хлібопекарському виробництві. Як еталонний білок використовували формулу, запроповану на останньому засіданні Консультативних зборів експертів ФАО у 2011 р. [1]. Дані про вміст незамінних амінокислот в еталонному білку та обраному борошні наведено у табл. 1.

Таблиця 1. Вміст незамінних амінокислот у досліджуваній сировині

Амінокислота	Вміст амінокислоти, мг/г білка		
	Еталонний білок	Борошно пшеничне [4]	Борошно кукурудзяне [4]
1	2	3	4
Валін	40	49,2	48,0
Гістидин	16	22,8	27,3
Ізолейцин	30	42,2	36,8

Продовження таблиці 1

1	2	3	4
Лейцин	61	75,5	126,3
Лізин	48	24,6	27,3
Метіонін+цистин	23	33,6	35,3
Треонін	25	28,1	36,8
Триптофан	6,6	11,5	6,4
Фенілаланін+тирозин	41	75,5	89,6

Оскільки всіма методиками допускається проводити спрощений розрахунок лише для п'яти найдефіцитніших амінокислот (лізин, метіонін, цистин, треонін і триптофан), використовували саме таку спрощену форму розрахунку. Для зручності розуміння ходу обчислень дані зводили в таблицю, зазначаючи послідовність операцій за допомогою літерної індексації стовпчиків. Форму розрахункової таблиці та спосіб її заповнення прийняли згідно з рекомендаціями [1].

Результати і обговорення. На першому етапі проводили розрахунок амінокислотного числа досліджуваної суміші за класичною методикою 1971 р. [2]. Для цього обчислювали загальний вміст амінокислот у суміші та в перерахунок на 1 г білка суміші й порівнювали одержані дані з амінокислотною формулою еталонного білка. Значення амінокислотного числа виражали у відсотках, перемноживши результат розрахунків на 100 (табл. 2).

Таблиця 2. Розрахунок амінокислотного числа (скору) білка досліджуваної суміші

Компонент	Кількість компонента в суміші, г	Масова частка білка, %	Вміст амінокислот, мг/1 г білка				Кількість білка в суміші, г	Вміст амінокислот у суміші, мг			
			Lys	Met+Cys	Thr	Trp		Lys	Met+Cys	Thr	Trp
			В	Г	Д	Е		$Ж = A \times B / 100$	Ж×В	Ж×Г	Ж×Д
Борошно пшеничне	900	9,6	24,6	33,6	28,1	11,5	86	2125	2903	2428	994
Борошно кукурудзяне	100	8	27,3	35,3	36,8	6,4	8	218	282	294	51
Разом:							94	2344	3185	2722	1045
Вміст амінокислот у суміші, мг/1 г білка:								25	34	29	11
Вміст амінокислоти в еталонному білку, мг/1 г білка:								48	23	25	6,6
Амінокислотне число і лімітуюча амінокислота:								52	147	115	168
* Thr – треонін, Val – валін, Ile – ізолейцин, Leu – лейцин, Tyr – тирозин, Phe – фенілаланін, His – гістидин, Lys – лізин, Cys – цистин, Met – метіонін, Trp – триптофан											

Зважаючи на початкові дані, наведені у табл. 1, лімітуючою амінокислотою суміші виявився лізин, амінокислотне число якого становить 52%. Скори інших амінокислот не лише близькі до 100%, але й на 15...68% перевищують нормований показник. Однак відомо, що у випадку з незамінними амінокислотами надлишок одних не може компенсувати недостатність інших (закон Лібіха). У більшості випадків ці надлишкові амінокислоти будуть використані на енергетичні цілі чи виведені з організму — обидва варіанти є недоцільними і замість позитивного фізіологічного ефекту можуть, навпаки, підвищувати навантаження на видільну систему людини. Тому вже на цьому етапі розрахунків

можна стверджувати, що суміш є біологічно неповноцінною і потребує коригування свого хімічного складу шляхом внесення інших видів сировини з високим вмістом лізину чи збагаченням чистим препаратом цієї амінокислоти.

Розрахункова методика PDCAAS вперше була запропонована у 1989 р., однак її широке застосування виявило кілька суперечностей, для подолання яких протягом наступних років було внесено декілька змін. Остаточна редакція правил обчислення показника PDCAAS та рекомендована форма для цього були затверджені у 2002 р. на Консультативних зборах експертів ФАО/ВООЗ/УООН [5]. Згідно з рекомендаціями цих зборів, аби наблизити дані, одержані розрахунковим шляхом, до результатів медико-біологічних досліджень, слід вводити поправку на загальну засвоюваність білка. Також, оскільки науковцями вже проводиться визначення засвоюваності окремих амінокислот та їхнього впливу на біологічну цінність білка [6], методика PDCAAS передбачає введення поправки на засвоюваність двічі: на етапі розрахунку кількості засвоюваних амінокислот і на етапі обчислення підсумкового показника PDCAAS. Приклад розрахунку біологічної цінності досліджуваної суміші за показником PDCAAS наведено у табл. 3 (дані про засвоюваність білка взято з [1]).

Таблиця 3. Форма і результати оцінювання білка досліджуваної суміші за показником PDCAAS

Компонент	Кількість компоненту в суміші, г	Масова частка білка, %	Вміст амінокислот, мг/1 г білка				Засвоюваність, %	Кількість білка, г		Засвоєвана кількість амінокислот, мг			
			Lys	Met +Cys	Thr	Trp		Загальна	Засвоєвана	Lys	Met +Cys	Thr	Trp
			В	Г	Д	Е		Ж=А× Б/100	К=Ж× Є/100	К×В	К×Г	К×Д	К× Е
Борошно пшеничне	900	9,6	24,6	33,6	28,1	11,5	89	86	77	1892	2584	2161	884
Борошно кукурудзяне	100	8	27,3	35,3	36,8	6,4	96	8	7,7	210	271	283	49
Разом:								94	85	2101	2855	2443	933
Середня величина засвоюваності (засвоєвана кількість білка/загальна кількість білка), %:							90						
Вміст засвоюваних амінокислот у суміші, мг/1 г засвоєваного білка:										25	34	29	11
Вміст амінокислоти в еталонному білку, мг/1 г білка:										48	23	25	6,6
Амінокислотне число і лімітуюча амінокислота:										0,52	1,47	1,16	1,67
Показник PDCAAS суміші (амінокислотне число лімітуючої амінокислоти×середню величину засвоюваності), %										46			

Хоча обрана сировина має досить високий ступінь засвоюваності (середня величина засвоюваності становить майже 90%), однак зниження засвоюваності закономірно вплинуло на результуюче значення. Як бачимо, внесення поправки на засвоюваність призвело до зниження показника PDCAAS порівняно з показником амінокислотного числа, розрахованого за попередньою методикою, на 6%. Слід відмітити, що це зниження проявилось лише на завершальному етапі, коли було внесено другу поправку на засвоюваність: якщо порівняти розраховані значення амінокислотного числа за обома методиками, вони практично не відрізняються. Однак, як зазначалося, дані біологічної цінності харчового білка, одержані за методикою PDCAAS, значно ближчі до

результатів медико-біологічних досліджень, тому слід прагнути до якомога ширшого впровадження описаної методики у широке використання всіма фахівцями, що займаються питаннями удосконалення існуючих чи розроблення нових харчових раціонів.

Методика DIAAS на сьогодні вважається найбільш придатною для розрахункового оцінювання якості харчового білка. Вона є удосконаленням методики PDCAAS, однак використовує не загальну величину засвоюваності білка, а рівень біологічної доступності окремих амінокислот, що входять до його складу [1]. Масив цих даних зростає щороку і на сьогодні існують вже досить повні таблиці засвоюваності окремих амінокислот для найбільш поширених видів харчової сировини та готової продукції [7]. Оскільки метод забезпечував отримання значень біологічної цінності, дуже близьких до результатів клінічних досліджень (на основі вивчення азотного балансу), він був відразу ж прийнятий науковою спільнотою [8; 9]. Як і в разі з методикою PDCAAS, експерти ФАО рекомендують проводити повний розрахунок (з урахуванням вмісту та засвоюваності всіх незамінних амінокислот). Однак допускається, для полегшення і прискорення подібних обчислень чи при відсутності результатів медико-біологічних досліджень щодо певних амінокислот, проводити розрахунок лише для п'яти найдефіцитніших амінокислот (лізин, метіонін, цистин, треонін і триптофан). Результати обчислень спрощеного показника DIAAS досліджуваної суміші наведено у табл. 4.

Таблиця 4. Форма і результати оцінювання білка досліджуваної суміші за показником DIAAS

Компонент	Кількість компоненту в суміші, г	Масова частка білка, %	Вміст амінокислот, мг/1 г білка				Істинна засвоюваність амінокислот, %				Кількість білка в суміші, г	Засвоювана кількість амінокислот, мг			
			Lys	Met+Cys	Thr	Trp	Lys	Met+Cys	Thr	Trp		Lys	Met+Cys	Thr	Trp
	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	К	Л	М	Н	Ж×В	К×Г	Л×Д	М×Е
Борошно пшеничне	900	9,6	24,6	33,6	28,1	11,5	87	88	86	89	86,4	1849	2555	2088	884
Борошно кукурудзяне	100	8	27,3	35,3	36,8	6,4	76	86	76	78	8	166	243	224	40
Разом:											94,4	2015	2798	2312	924
Вміст засвоюваних амінокислот у суміші, мг/1 г білка:											21	30	24	10	
Вміст амінокислоти в еталонному білку, мг/1 г білка:											48	23	25	6,6	
Показник DIAAS суміші, обумовлений лімітуючою амінокислотою, %:											44	129	98	148	

Порівнюючи одержані дані з результатами попередніх досліджень, бачимо ще суттєвіше зниження показника біологічної цінності білка: відносно показника амінокислотного числа, розрахованого за методикою 1971 р., — на 8%, відносно показника PDCAAS — на 2%. Також спостерігаємо зниження величини амінокислотного скору для інших амінокислот на 18...19%, зокрема для треоніну він зменшився нижче граничного показника 100%. Зважаючи на незначне розходження показників DIAAS та PDCAAS, обидві методики можуть

бути використані для вибору сировини чи удосконалення рецептур виробів підвищеної біологічної цінності.

Висновки

Отже, використання найпоширенішої на сьогодні розрахункової методики оцінювання якості харчового білка — обчислення амінокислотного скору (без урахування величин засвоюваності білка та амінокислот) призводить до суттєвого перевищення прогнозованої величини біологічної цінності продуктів і раціонів. Постійний розвиток інструментарію для медико-біологічних досліджень забезпечив накопичення значної бази даних щодо показників біологічної доступності як білка загалом, так і окремих амінокислот, що входять до його складу. Тому фахівцям харчової галузі слід ширше використовувати новітні методики PDCAAS та DIAAS для розрахункового оцінювання якості білка. Значення PDCAAS (за наявності всіх необхідних даних — DIAAS) значно ближчі до результатів клінічних досліджень, які враховують усю різноманітність трансформації спожитого білка та амінокислот в організмі людини.

Література

1. Dietary protein quality evaluation in human nutrition: report of an FAO Expert Consultation. Rome: FAO, 2013. 66 p. Також доступний у PDF: <http://www.fao.org/3/a-i3124e.pdf> (дата звернення 09.04.2020).
2. Energy and protein requirements: report of a Joint FAO/WHO ad hoc expert committee. Geneva, WHO Tech. Rep. 522, 1973. 118 p. Також доступний у PDF: http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/41042/WHO_TRS_522_eng.pdf (дата звернення 09.04.2020).
3. Protein quality evaluation: report of the Joint FAO/WHO Expert Consultation. Rome: FAO, 1991. 66 p.
4. Frida Food Data (<http://frida.fooddata.dk>), version 1, release 3.7 2019-04-02, National Food Institute, Technical University of Denmark.
5. Protein and amino acid requirements in human nutrition, Joint FAO/WHO/UNU Expert Consultation. Geneva, WHO Tech. Rep. 935, 2007. 265 p. Також доступний у PDF: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/43411/1/WHO_TRS_935_eng.pdf (дата звернення 09.04.2020).
6. Schaafsma G. “Advantages and limitations of the protein digestibility-corrected amino acid score (PDCAAS) as a method for evaluating protein quality in human diets” // British Journal of Nutrition, 2012. Vol. 108 (S2). pp. 333—336. DOI: 10.1017/S0007114512002541. Також доступний у PDF: <https://www.cambridge.org/core/services/aop-cambridge-core/content/view/B8A-F22E072A9236C87E03EF2960EF5EE/S0007114512002541a.pdf/div-class-title-advantages-and-limitations-of-the-protein-digestibility-corrected-amino-acid-score-pdcaas-as-a-method-for-evaluating-protein-quality-in-human-diets-div.pdf> (дата звернення 09.04.2020).
7. The assessment of amino acid digestibility in foods for humans and including a collation of published ileal amino acid digestibility data for human foods / Report of a Sub-Committee of the 2011 FAO Consultation on “Protein Quality Evaluation in Human Nutrition”, 2012. 58 p. Також доступний у PDF: <http://www.fao.org/ag/humannutrition/36216-04a2f02ec02eafd4f457dd2c98-51b4c45.pdf> (дата звернення 09.04.2020).
8. Rutherford S. Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Scores and Digestible Indispensable Amino Acid Scores Differentially Describe Protein Quality in Growing Male Rats / S. Rutherford, A. Fanning, B. Miller, P. Moughan // The Journal of Nutrition, 2015. Vol. 145. pp. 372—379. DOI: 10.3945/jn.114.195438.
9. Havenaar R. Herring roe protein has a high digestible indispensable amino acid score (DIAAS) using a dynamic in vitro gastrointestinal model / R. Havenaar, A. Maathuis, A. de Jong, D. Mancinelli, A. Berger, S. Bellmann. *Nutrition Research*. 2016. Vol. 36(8). pp. 798—807. DOI: 10.1016/j.nutres.2016.05.004.

FLAX SEEDS AS THE PRESCRIPTION COMPONENT OF BAKERY PRODUCTS

Yu. Bondarenko, O. Bilyk, O. Kochubei-Lytvynenko, G. Andronovich
National University of Food Technologies

Key words:

Flax seeds
Wheat bread
Doug,
Grissini bread sticks
Puff yeast dough

Article history:

Received 15.07.2020
Received in revised form
29.07.2020
Accepted 13.08.2020

Corresponding author:

O. Bilyk
E-mail:
bilyklena@gmail.com

ABSTRACT

Today it is relevant to use ingredients in the production of bakery products which give them functional properties. Oil seeds, in particular flax seeds, are an important source of dietary fiber, complete protein, unsaturated fatty acids, minerals and vitamins for enriching various bakery products. The research used the seeds of golden flax.

According to the research results, it was found that it is technologically possible to dose crushed flax seeds to the wheat bread recipe up to 20% by weight of flour, and up to 15% by weight of flour as a whole. With such a dosage, products with developed porosity were obtained with pleasant light yellow coloured crumb and pleasant nutty flavor. The paper considers the possibility of using crushed golden flax seeds in the recipe of bakery products from puff yeast dough. According to the results of laboratory baking and graph-mathematical method of optimization by a complex indicator of quality and integrated score of products, it was established that it is advisable to add up to 15% of crushed flax seeds to the recipe of puff products.

The use of crushed flax seeds as a part of puff products allowed to reduce the amount of margarine for layering dough from 35% to 20% to the weight of the dough and to enrich products with unsaturated fatty acids of flax seeds.

In the technology of lamb products enriched with flax seeds, it is recommended to dose flax seeds in the amount of 15% by weight of flour. Products with such dosing received the highest number of points of a complex indicator of quality and correspond to requirements of regulatory documentation.

The paper considers the possibility of creating organic bakery products of low humidity for special purposes. "Grisini" bread sticks, which were made from organic raw materials, were chosen as the object of enrichment. To increase the nutritional value of bread sticks and enrich them with such physiologically functional ingredients as unsaturated fatty acids, lignans, dietary fiber, it is promising to use flax seeds. It was found that it is advisable to include organic seeds of golden flax in the formulation of bread sticks up to 25% by weight of flour.

НАСІННЯ ЛЬОНУ ЯК РЕЦЕПТУРНИЙ КОМПОНЕНТ ХЛІБОБУЛОЧНИХ ВИРОБІВ

Ю. В. Бондаренко, О. А. Білик, О. В. Кочубей-Литвиненко, Г. М. Андронович
Національний університет харчових технологій

Сьогодні актуальним є використання у виробництві хлібобулочних виробів інгредієнтів, які надають їм функціональних властивостей. Олійні культури, зокрема насіння льону, є важливим джерелом харчових волокон, повноцінного білка, ненасичених жирних кислот, мінеральних речовин і вітамінів для збагачення хлібобулочних виробів різного асортименту. У дослідженнях використовували насіння льону золотого.

За результатами досліджень встановлено, що технологічно можливе дозування подрібненого насіння льону в рецептурі пшеничного хліба становить до 20% до маси борошна, а цілого — до 15% до маси борошна. За такого дозування отримують вироби з розвинутою пористістю з приємним світло-жовтим забарвленням м'якушки та приємним горіховим присмаком.

У статті також розглянуто можливість застосування подрібненого насіння льону золотого в рецептурі булочних виробів з листкового дріжджового тіста. За результатами лабораторного випікання та графо-математичного методу оптимізації за комплексним показником якості та інтегральним скором виробів встановлено, що в рецептуру листкових виробів доцільно вносити до 15% подрібненого насіння льону. Використання у складі листкових виробів подрібненого насіння льону дало змогу знизити рецептурну кількість маргарину на шарування тіста з 35% до маси тіста до 20% та збагатити вироби ненасиченими жирними кислотами насіння льону.

У технології сушки, збагаченої насінням льону, рекомендовано дозування насіння льону 15% до маси борошна. Вироби за такого дозування отримали найвищу кількість балів за комплексним показником якості та відповідають вимогам нормативної документації.

Встановлено, що для збагачення хлібних паличок фізіологічно активними речовинами насіння льону, в їх рецептуру доцільно включати насіння льону золотого в кількості до 25% до маси борошна. Це забезпечує хороші смакові властивості виробу та підвищує його харчову цінність.

Ключові слова: насіння льону, хліб пшеничний, тісто, хлібні палички «Грісіні», листкове дріжджове тісто.

Постановка проблеми. Популярним напрямом у сучасному хлібопеченні є використання нетрадиційної сировини для створення хлібобулочних виробів з функціональними властивостями. Одним із видів такої сировини є насіння льону.

Зацікавленість науковців насінням льону як сировиною для збагачення хлібобулочних виробів зумовлена наявністю в ньому таких функціональних речовин, як білки з повноцінним амінокислотним складом, есенціальні поліненасичені жирні кислоти (ПНЖК) з переважним вмістом ліноленової (ω -3) кислоти, харчові волокна [1; 2]. Насіння льону містить лігнани, які здатні сповільнити поділ злоякісних клітин деяких пухлин [3]. Лігнани покращують функції сечової системи,

допомагають запобігти запаленню нирок. Вживання продуктів, збагачених насінням льону, протягом чотирьох тижнів знижує рівень холестерину в крові.

У виробництві харчових продуктів широко застосовують різні продукти переробки насіння льону: лляну олію, частково знежирене лляне борошно, повністю знежирене лляне борошно, екстракти слизу лляного насіння, оболонки лляного насіння.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У разі використання у виробництві хлібобулочних виробів подрібнених лляних оболонок [4] було відзначено, що поряд з покращанням антиоксидантних властивостей виробу спостерігалось значне зменшення об'єму хліба та погіршення органолептичних показників.

Включення до складу пшеничного хліба шроту насіння льону в кількості 7,5% до маси борошна зумовлює деяке погіршення фізико-хімічних та органолептичних показників якості хліба, зокрема затемнювалася м'якушка виробів [5]. Для покращання якості такого хліба з додаванням шроту насіння льону науковцями було запропоновано застосовувати ряд технологічних заходів, в тому числі додавати такі рецептурні інгредієнти, як суха пшенична клейковина, аскорбінова кислота, солодовий екстракт або ферментований солод [5]. Однак вироби завжди були із затемненою м'якушкою, причиною чого було використання у технології переробки льону саме коричневих сортів насіння льону.

Для розроблення функціонального хліба, збагаченого ненасиченими жирними кислотами ω -3, до складу виробів також включали сире та смажене подрібнене коричневе насіння льону [6]. Однак автори обмежувалися дозуванням подрібненого насіння льону — 10% до маси борошна. Однією з причин цього було використання саме коричневого льону, що затемнював колір м'якушки. В праці [7] було відзначено, що збагачення хліба подрібненим насінням льону, яке попередньо обсмажували, зумовлює зниження перетравлюваності білків виробу, його глікемічного індексу та підвищення вмісту α -ліноленової кислоти у виробі.

При збагаченні тостового хліба лляним борошном було встановлено закономірності впливу лляного борошна на реологічні властивості тіста, зокрема відзначено, що знижувалася стабільність тіста. Експериментально доведено, що додавання лляного борошна підвищувало вміст у виробі фенольних сполук [8].

Хлібобулочна продукція з листового тіста відноситься до однієї з найбільш популярних груп хлібобулочних виробів. Виготовляють ці вироби в основному з пшеничного борошна. Однак використання як основної сировини борошна пшеничного вищого сорту надає виробам ряду недоліків, таких як низький вміст білків, біологічно активних речовин, незбалансований амінокислотний склад, нехарактерних для інших зернових культур. У зв'язку з цим у [9; 10] були проведені дослідження щодо використання вівсяного борошна у виробництві листових хлібобулочних виробів. Встановлено, що доцільно замінювати пшеничне борошно в технології листових виробів вівсяним у кількості 15%. І. Л. Казанцева і співавтори [11] пропонують у технології прісних листових виробів частково замінити борошно пшеничне вищого сорту на нутове борошно. Авторами виявлено, що зі збільшенням частки нутового борошна зменшується тривалість утворення тіста, але натомість і збільшується швидкість його розрідження. Рекомендовано є заміна пшеничного борошна на нутове в кількості 5%.

У [12] досліджено використання амарантового борошна у виробництві круасанів. Розроблено рецептуру й технологічну інструкцію з приготування круасанів

«Жаклін» з поліпшеним амінокислотним складом і підвищеною біологічною цінністю, збагачених мінеральними речовинами і вітамінами.

У [13] було отримано позитивні результати щодо проведення 100% заміни в рецептурі листових виробів (як дріжджових, так і без дріжджових) пшеничного борошна на полб'яне. Встановлено, що вміст білка у розроблених виробках на 21,0% вищий, ніж у пшеничних. Крім того, нові вироби відрізняються підвищеним вмістом клітковини, мінеральних речовин (фосфору — на 14,2%; магнію — на 20,6%) і вітамінів (В₆ — на 21,1%; В₉ — на 24,4%).

О. А. Хлопоніна запропонувала часткову заміну пшеничного борошна на гречане в технологіях листових виробів [14]. Автором встановлені оптимальні співвідношення борошна: для гречаного і пшеничного 30:70 відповідно, що позитивно позначається як на властивостях тістового шару, так і на якості листових виробів. Автором виявлено, що у виробках з додаванням борошна гречаного зростає вміст білків на 7,3%, а також мінеральних речовин (Mn, Cu, P) і вітамінів (В₁, РР).

Найбільшу увагу науковців було звернено на розроблення листового тіста з використанням житнього борошна.

Тож науковці активно збагачують листові вироби нетрадиційними видами сировини. Однак це переважно додавання до пшеничного борошна житнього, гречаного, вівсяного тощо. Немає досліджень щодо застосування в технології листових виробів олійних культур, зокрема насіння льону. Унікальність насіння льону в тому, що воно є джерелом одночасно трьох груп біологічно активних речовин, важливих для здоров'я людини: альфа-ліноленової кислоти (рослинні омега-3 жирні кислоти), лігнанів і розчинних харчових волокон. Оскільки насіння льону є джерелом ряду цінних компонентів, то може використовувати для спрямованого моделювання харчової цінності хлібобулочних виробів.

Серед хлібобулочних виробів зі зниженою вологістю особливу увагу привертають бубличні вироби та хлібні палички. Такі вироби мають термін придатності до декількох місяців.

У виробництві хлібних паличок використовують широкий асортимент сировини для розширення смакових і ароматичних властивостей виробів. Це можуть бути приправи, кунжут, кмін. Для отримання солоних хлібних паличок збільшують дозування солі, для солодких — цукру. Також додають сушені подрібнені овочі, молочні продукти. Але спектр постійно розширюється завдяки напрацюванням науковців. Так, у [15] розроблено рецептури хлібних паличок з додаванням фруктових і овочевих порошоків. Застосовували порошки із яблук в оптимальному дозуванні 5% до маси борошна та із винограду, гарбуза й топінамбуру — 10% до маси борошна. Також досліджено можливість сумісного використання в рецептурі хлібних паличок порошоків гарбуза та яблук в однаковому співвідношенні. При цьому оптимальне дозування цієї суміші становить до 7,5%. Такі хлібні палички рекомендуються в дієтотерапії для хворих на цукровий діабет 2 типу [15]. У [16] розроблено хлібні палички з насінням кмину, яке додають під час замішування тіста в кількості 1,5% до маси борошна. Розроблені хлібні палички, збагачені поре грибів гливи та харчовим казеїном. Встановлено, що внесення поре гливи та казеїну в кількості 25% та 7% не погіршує якість виробів і підвищує біологічну цінність [17]. А. В. Абрамов, В. М. Калюжин запропонували хлібні палички зернові з додаванням гречки в кількості від 82—84% та

сої — від 16—18%. При споживанні 100 г таких виробів задовольняється добова потреба в білках на 29% [16].

Аналітичний огляд за темою досліджень підтвердив, що дослідження щодо застосування в технології хлібних паличок насіння льону відсутні. Насіння льону є джерелом ряду цінних компонентів і може використовувати для спрямованого моделювання харчової цінності хлібобулочних виробів.

Зважаючи на обмаль напрацювань щодо використання насіння льону, зокрема його сорту золотого, в рецептурі хлібобулочних виробів різного асортименту доцільно визначити технологічно можливі дозування для збагачення виробів його цінними складовими.

Метою дослідження є встановлення технологічно можливого дозування насіння льону у виробництві різного асортименту хлібобулочних виробів, збагачених ним: хліба пшеничного, булочних виробів з дріжджового листкового тіста, бубличних виробів (сушок) і хлібних паличок «Грісіні».

Матеріали і методи. У дослідженнях використовували насіння льону виробництва ТОВ «Біорозторопша» (Україна), сорт золотий. Характерною його ознакою є жовтий колір насіння; в насінні міститься олії — 49,0—51,0% з високим вмістом ліноленої кислоти.

Об'єктами для збагачення льоном було обрано хліб пшеничний, булочні вироби з листкового тіста та вироби зниженої вологості: бубличні вироби (сушки) та хлібні палички «Грісіні».

З метою встановлення технологічно можливого дозування насіння льону для збагачення обраного асортименту хлібобулочних виробів були проведені пробні лабораторні випікання.

Для того, щоб встановити оптимальне дозування цілого та подрібненого насіння льону для збагачення пшеничного хліба складовими льону готували зразки тіста з борошна пшеничного першого сорту з додаванням цілого насіння льону золотого в кількості 10,0; 15,0 та 20,0% до маси борошна та зразки з внесенням подрібненого насіння льону в кількості 10, 15, 20 та 25% до маси борошна. Контролем був зразок без внесення насіння льону. Тісто готували безопарним способом. Перед замішуванням тіста ціле або подрібнене насіння льону змішували з пшеничним борошном. Замишували тісто в двошвидкісній тістомісильній машині Escher. Оброблення тіста здійснювали вручну, вистоювання тістових заготовок проводили в термостаті за температури $(38 \pm 2)^\circ\text{C}$ та відносній вологості $(75 \pm 2)\%$ до готовності. Вироби випікали в шафовій печі Sveba-Dahlen за температури 220...240°C.

Для булочних виробів з дріжджового листкового тіста тісто готували з борошна вищого сорту, дріжджів хлібопекарських пресованих, солі кухонної, цукру білого, насіння льону подрібненого, а також води питної. В рецептуру дослідних зразків включали подрібнене насіння льону в кількості 10, 15, 20% до маси борошна. Контролем був зразок без внесення льону. В усіх зразках кількість маргарину на шарування становила 35% до маси тіста. Температура води для замішування тіста становила 4°C. Замишування тіста проводили у двошвидкісній тістомісильній машині Escher. Тісто виброджувало в умовах лабораторії протягом 60...90 хв. Для шарування тіста його розкочували на тісторозкаточній машині до товщини 7 мм, укладали на нього маргарин, який накривали тістом. Після прокатування тіста з маргарином проводили два простих його складання

та розкочування до товщини 4 мм. Після шарування тіста формували тістові заготовки: розрізали на прямокутники розміром 10·13 см, які складали втрое. Готові тістові заготовки вистоювали за температури 34...36°C і відносній вологості 75...80% протягом 60...90 хв. Випікання проводили за температури 200...175°C протягом 15...18 хв.

Для приготування бубличних виробів (сушок) дозування насіння льону становило 5, 10, 15, 20% до маси борошна. Тісто замішували в двошвидкісній тістомісильній машині Escher (Італія) протягом 20 хвилин на першій швидкості. Замішане тісто залишали на 20 хв на відлежування, після чого проводили операцію натирання з подальшим відлежуванням тіста. Тістові заготовки формували вручну та залишали на вистоювання за температури (38±2)°C і відносній вологості (78±2)% до готовності. Перед випіканням тістові заготовки обварювали в гарячій воді з додаванням цукру білого. Вироби випікали в шафовій печі Sveba-Dahlen за температури 230°C 14...18.

Для хлібних паличок «Грісіні» тісто готували безопарним способом. Замішування тіста проводилось на лабораторному міксері «Kenwood». Ціле насіння льону додавали в кількості 15,0; 25,0 та 35,0% до маси борошна. Контрольним був зразок без насіння льону. В усіх зразках перед замішуванням тіста насіння льону ретельно змішувалось з борошном. Оброблення тіста здійснювали вручну. Формували тістові заготовки довжиною 10 см, шириною 2 см, товщиною 0,4 см. Остаточне вистоювання проводилось у термостаті за температури (38±2)°C і відносній вологості (75±2)% 20 хв. Вироби випікали в лабораторній печі Sveba при температурі 200°C 14...16 хв.

Готові вироби аналізували за органолептичними та фізико-хімічними показниками за загальноприйнятими методиками.

Викладення основних результатів дослідження. За результатами досліджень встановлено, що внесення цілого насіння льону в рецептуру пшеничного хліба зумовило зміну органолептичних властивостей готових виробів, зокрема скоринка та м'якушка виробів з насінням льону містять помітні включення насіння, кількість яких зростає відповідно до дозування. Вироби мають приємний горіховий-олійний присмак. Однак у зразку з додаванням 20% насіння льону м'якушка містить багато включень насіння, що погіршує її еластичність і стан пористості, виріб набуває неприємного олійного присмаку. Тож можливим дозуванням цілого насіння льону для збагачення ним пшеничного хліба є дозування до 15% до маси борошна.

Споживачам, які страждають на гастрит і виразкові хвороби, дієтологи рекомендують обмежити вживання виробів з цілим насінням. Тому для надання хлібобулочним виробам функціональних властивостей унаслідок їх збагачення льоном пропонується використовувати в рецептурі подрібнене насіння льону.

Аналіз органолептичних показників якості виробів показав, що вироби з додаванням подрібненого насіння льону мали, порівняно з контролем, більш інтенсивно забарвлену й тонку скоринку. М'якушка дослідних зразків за дозування подрібненого насіння льону 10...20% була подібною до контрольного зразка: розвиненою, тонкостінною з приємним світло-жовтим забарвленням. У разі дозування 25% до маси борошна подрібненого насіння еластичність м'якушки погіршувалася, а також за цього дозування вироби мали дуже інтенсивний олійний присмак і запах, тому насіння льону золотого в подрібненому стані можливо вносити в рецептуру пшеничного хліба в кількості до 20% до маси борошна.

Результати досліджень свідчать (табл. 1, рис. 1), що при такому дозуванні цілого та подрібненого насіння льону питомий об'єм виробів знижується порівняно з контролем на 6,5 та 11,7% відповідно, а формостійкість — на 10,7% та 35,7%.

Таблиця 1. Показники якості пшеничного хліба з внесенням цілого та подрібненого насіння льону

Показник	Контроль	Внесено насіння льону, % до маси борошна	
		15 цілого	20 подрібненого
Питомий об'єм хліба, см ³ /г	3,4	3,18	3,0
Формостійкість, h/d	0,56	0,50	0,36



Рис. 1. Фото хліба (зліва направо): контроль; 15% цілого насіння льону; 20% подрібненого насіння льону

Лабораторне випікання булочних виробів з листового дріжджового тіста показало (табл. 2), що зі збільшенням дозування подрібненого насіння льону смакові властивості листових виробів набувають присмаку й запаху льону. Особливо це було відчутно за дозування 20% до маси борошна. Питомий об'єм виробів також зменшувався відповідно до збільшення дозування на 8—29%.

Таблиця 2. Показники якості булочних виробів з листового дріжджового тіста з додаванням подрібненого насіння льону золотого

Показники	Контроль	Кількість внесеного подрібненого насіння льону, % до маси борошна		
		10	15	20
Кількість маргарину на шарування 35% до маси тіста				
1	2	3	4	5
Форма	Правильна, відповідає формі виробу	Правильна, відповідає формі виробу	Правильна, відповідає формі виробу	Правильна, відповідає формі виробу
Колір поверхні	Світло-коричневий, однорідне забарвлення	Коричневий, з видимими краплями льону	Коричневий, з видимими краплями льону	Коричневий, з видимими темними краплями льону
Смак	Присмний, властивий виробу	Присмний зі слабо вираженим присмаком льону	Присмний, виражений присмак льону	Смак льону дуже різко виражений

1	2	3	4	5
Запах	Властивий, без стороннього запаху	Властивий виробу, із приємним запахом льону	Властивий виробу, із вираженим запахом льону	Чітко виражений запах льону
Питомий об'єм, см ³ /г	3,48	3,18	2,9	2,45

Для встановлення оптимального дозування подрібненого насіння льону в рецептурі листових виробів важливо досягти балансу забезпечення показників якості готових виробів і підвищення їхньої харчової цінності. Тому поряд з органолептичним оцінюванням якості виробів застосували графо-математичний метод оптимізації.

Для цього було розраховано комплексний показник якості готових виробів за органолептичними показниками, використовуючи 100-бальну шкалу. Оцінку кожного показника проводили за п'ятибальною шкалою з урахуванням коефіцієнта вагомості цього показника. Якість виробу оцінювали за сумою балів. Величину коефіцієнта вагомості встановлювали методом експертної оцінки. Сума цих коефіцієнтів є постійною величиною і дорівнює одиниці.

Органолептичну оцінку проводили за участю дегустаторів кафедри технології хлібопекарських і кондитерських виробів НУХТ. Результати оброблені методом математичної статистики.

Паралельно було розраховано інтегральний скор (за вмістом білкових речовин) усіх зразків. За отриманими даними будували графік (рис. 2).

З огляду на результати аналізу даних (рис. 2) можна стверджувати, що в рецептуру листових виробів доцільно вносити до 15% подрібненого насіння льону. Збільшення дозування призведе до погіршення якості виробів, хоча інтегральний скор виробів буде зростати.

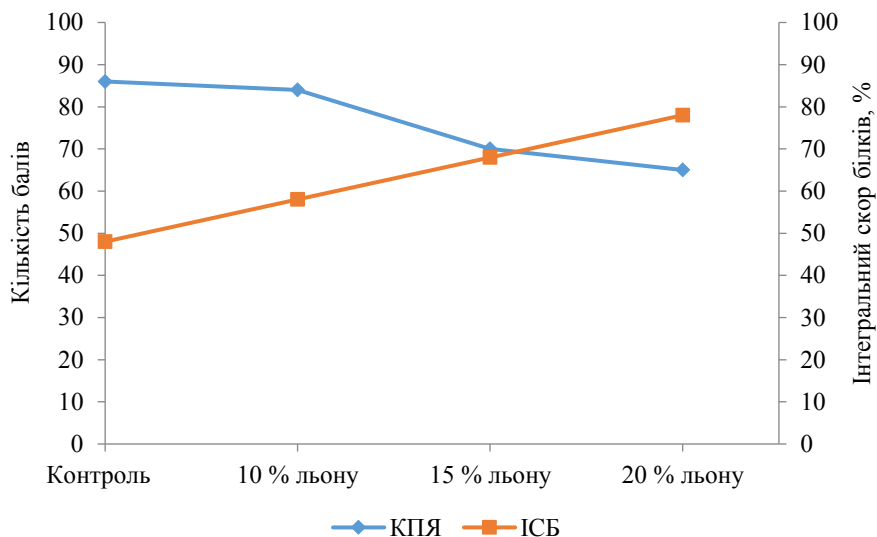


Рис. 2. Криві комплексного показника якості (КПА) та інтегрального скору білків (ІСБ) виробів для контрольного і дослідних зразків

Рецептурою листових виробів передбачено значний вміст маргарину на шарування, який може бути джерелом трансізомерів, тому доцільно проводити дослідження щодо зменшення його вмісту у виробках. Оскільки лляне насіння має високий вміст жиру (40...52%), багатого ненасиченими жирними кислотами, запропоновано провести дослідження щодо зниження вмісту жиру на шарування за рахунок того, що разом з насінням льону в тістову систему потраплятиме певна кількість жиру. Можливо, це дасть змогу знизити кількість жиру на шарування. Всі зразки містили кількість льону 15% до маси борошна та різну кількість маргарину на шарування: контроль — 35% маргарину на шарування, дослідні — містили, відповідно, 30, 20, 15% до маси тіста. Результати аналізу виробів наведено в табл. 3.

Таблиця 3. Показники якості листових виробів з подрібненим насінням льону та різною кількістю жиру на шарування

Показники	Кількість внесеного маргарину на шарування, % до маси тіста			
	Контроль	Дослідні зразки		
	35%	30%	20%	15%
Кількість подрібненого насіння льону 15% до маси борошна				
Форма	Правильна, прямокутна, відповідає формі виробу	Правильна, прямокутна, відповідає формі виробу	Правильна, прямокутна, відповідає формі виробу	Правильна, прямокутна, відповідає формі виробу
Колір поверхні	Коричневий, з видимими вкрапленнями льону	Коричневий, з видимими вкрапленнями льону	Коричневий, з видимими вкрапленнями льону	Коричневий, з видимими вкрапленнями льону
Смак	Приємний, чітко виражений смак льону, дуже різкий смак жиру	Приємний, чітко виражений смак льону, жирність менш виражена	Приємний, чітко виражений смак льону, смак жиру ледь відчувається	Приємний, чітко виражений смак льону, смак жиру слабо відчутний
Запах	Властивий виробу, із приємним запахом льону	Властивий виробу, із приємним запахом льону	Властивий виробу, із приємним запахом льону	Властивий виробу, із приємним запахом льону
Питомий об'єм, см ³ /г	2,80	2,87	2,64	2,46

За результатами органолептичного оцінювання встановлено, що зменшення кількості жиру на шарування дає змогу отримати вироби належної якості, які мають приємні смакові властивості, необхідну шарувату структуру. Однак зменшення кількості маргарину до 15% до маси тіста зумовлювало зниження питомого об'єму виробів на 12%, тому можна рекомендувати максимальне зниження кількості жиру на шарування до 20% до маси тіста, при цьому зниження об'єму виробів становить 5,7%.

Результати збагачення бубличних виробів (сушок) насінням льону золотого свідчать, що вироби з 5% до маси насіння льону мали дещо неприємний присмак сирого насіння. Збільшення дозування насіння сприяє формуванню у виробках приємного оригінального присмаку смаженого насіння. Готові вироби з

льоном мали включення насіння на поверхні. У разі збільшення дозування насіння льону готові вироби набувають інтенсивнішого забарвлення поверхні та стають більш крихкими порівняно з контролем. У разі дозування 20% насіння льону до маси борошна поряд з формуванням приємних смакових властивостей дещо погіршується їхня розжовуваність.

За результатами органолептичного оцінювання готових виробів розраховували комплексний показник якості.

Результати розрахунку комплексного показника органолептичних показників якості контрольного та дослідних зразків показали (рис. 3), що дозування 15% насіння льону до маси борошна, поряд зі збагаченням виробу фізіологічно-функціональними інгредієнтами льону, сприятиме формуванню органолептичних показників, що задовольняють масового споживача.

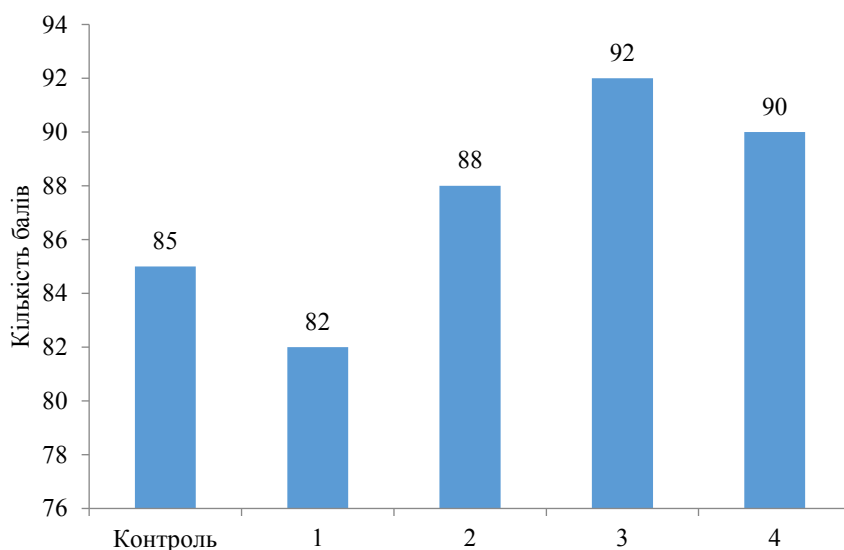


Рис. 3. Комплексний показник якості виробів з додаванням насіння льону золотого:
 1 — 5% до маси борошна; 2 — 10% до маси борошна; 3 — 15% до маси борошна;
 4 — 20% до маси борошна

Аналіз виробів за фізико-хімічними показниками показав (табл. 4), що внесення насіння льону не впливає на кислотність готових виробів. Масова частка вологи виробів у разі зростання дозування насіння дещо знижується, напевно, внаслідок вищої водопоглинальної здатності насіння.

Таблиця 4. Фізико-хімічні показники сушок з додаванням насіння льону

Показник	Контроль	Зразки з внесенням насіння льону, % до маси борошна			
		5	10	15	20
Масова частка вологи сухарів, %	12,5	12,3	12,0	11,4	11,0
Кислотність, град	1,6	1,6	1,5	1,5	1,5
Коефіцієнт набування	4,3	4,0	3,8	3,5	3,0

Відзначено, що коефіцієнт набухання сушок з льоном зменшується відповідно до зростання дозування. Це, напевно, пов'язано з тим, що в готових виробках однакової маси в разі зростання дозування льону вміст борошна буде зменшуватися при збільшенні частки насіння льону.

Внесення насіння льону в рецептуру хлібних паличок «Грісіні» також зумовило зміну органолептичних властивостей готових виробів, зокрема скоринка та м'якушка виробів із внесенням насіння містять помітні включення насіння, кількість яких зростає відповідно до дозування. Вироби набували приємного горіхового та попкорнового присмаку. Проте у зразку з додаванням 35% насіння льону м'якушка містить багато включень насіння, що погіршує її еластичність і стан пористості, виріб набуває неприємного присмаку. Тож для збагачення насінням льону хлібних паличок «Грісіні» рекомендованим є його дозування до 25% до маси борошна.

Висновки

Отже, для збагачення пшеничного хліба фізіологічно-функціональними інгредієнтами льону технологічно можливе дозування насіння льону золотого в подрібненому стані становить до 20% до маси борошна, а в цілому — до 15% до маси борошна.

У технології листкових виробів можливе їх збагачення подрібненим насінням льону, при цьому його оптимальне дозування повинно становити до 15% до маси борошна. Використання в рецептурі листкових виробів подрібненого насіння льону дало змогу знизити рецептурну кількість жиру на шарування до 20% до маси тіста проти 35%.

Встановлено, що в рецептуру хлібних паличок «Грісіні» доцільно включати до 25% до маси борошна органічного насіння льону. Це забезпечує хороші смакові властивості виробу та підвищує його харчову цінність.

У технології сушки, збагаченої насінням льону, рекомендовано дозування насіння льону 15% до маси борошна. Вироби за такого дозування отримали найвищу кількість балів за комплексним показником якості та відповідають вимогам нормативної документації.

У подальшому доцільно провести дослідження щодо підбору раціональних способів і параметрів приготування тіста для запропонованого асортименту виробів, збагачених насінням льону, що дасть змогу підвищити якість виробів і знизити технологічні затрати на виробництво.

Література

1. Ganorkar. P. M., Jain R. K. Flaxseed — a nutritional punch. *International Food Research Journal*. 2013. № 20(2). P. 519—525.
2. D. Rodriguez-Leyva, W. Weighell, A. L. Edel, R. La Vallee, E. Dibrov, R. Pinneker, *et al.* Potent antihypertensive action of dietary flaxseed in hypertensive patients. *Hypertension*. 2013. № 62. P. 1081—1089. doi: <http://doi.org/10.1161/hypertensionaha.113.02094>.
3. Touré A., Xueming X. Flaxseed lignans: source, biosynthesis, metabolism, antioxidant activity, bio-active components, and health benefits. *Institute of Food Technologists*. 2010. № 9(3). P. 261—269. doi: <http://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00105.x>.

4. Łukasz Sęczyk, Michał Świeca, Dariusz Dziki, Andrzej Anders, Urszula Gawlik-Dziki. Antioxidant, nutritional and functional characteristics of wheat bread enriched with ground flaxseed hulls. *Food Chemistry*. 2017. № 214. P. 32—38.
5. Дробот В. І., Іжевська О. П., Бондаренко Ю. В. Шрот насіння льону в технології хлібобулочних виробів. *Харчова наука і технологія*. 2016. Т. 10, № 3. С. 76—81.
6. Pandurang Marpalle, Sachin K. Sonawane, Shalini Subhash Arya. Effect of flaxseed flour addition on physicochemical and sensory properties of functional bread. *LWT - Food Science and Technology*. 2014. № 58(2). P. 614—619.
7. Sachin K. Sonawane, J. G. LeBlanc, S. S. Arya. Nutritional characterization and oxidative stability of α -linolenic acid in bread containing roasted ground flaxseed. *LWT - Food Science and Technology*. 2015. № 61(2). P. 510—515.
8. Pourabedin M., Aarabi A., Rahbaran S. Effect of flaxseed flour on rheological properties, staling and total phenol of Iranian toast. *Journal of Cereal Science*. 2017. № 76. P. 173—178.
9. Семенкина Н. Г., Тюрина О. Е., Никитин И. А., Фадеева Я. С. Изучение возможности применения овсяной муки в производстве дрожжевых слоеных изделий. *Хлебопечение России*. 2017. № 5. С. 29—32.
10. Крылова Е. И., Ильина О. А. Композитные смеси для слоеных изделий повышенной пищевой ценности. *Пищевая промышленность*. 2002. № 11. С. 58—59.
11. Казанцева І. Л., Кулеватова Т. Б., Злобина Л. Н. К вопросу применения муки из зерна нута в технологи мучных кондитерських изделий. *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2018. № 1(25). С. 76—81.
12. Семенкина Н. Г., Тюрина О. Е., Никитина И. А., Филатова Е. В. Использование амарантовой муки в производстве хлебобулочных изделий. *Хлебопродукты*. 2018. № 3. С. 42—45.
13. Головенцов Є., Запаренко Г. В. Технологія борошняних кондитерських виробів із використанням полб'яного борошна. *Розвиток молодіжної науки в Україні: інновації, проблеми, перспективи: Збірник тез доповідей Всеукраїнської студентської наукової-практичної інтернет-конференції, 22—23 березня 2018 р.* Харків: РВВ ХТЕІ КНТЕУ, 2018. С. 153—154.
14. Хлопонина О. А. Опыт применения альтернативных видов муки в производстве мучных кондитерских и хлебобулочных изделий. *Пищевая промышленность*. 2015. № 8. С. 58—59.
15. Веселова А. Ю. Влияние овощных и фруктовых порошков на органолептические показатели хлебных палочек диабетического назначения. *Хлебопечение России*. 2014. № 5. С. 18—20.
16. Абрамов О. В., Каложина В. М. Комплексная оценка качества экструдированных продуктов функционального назначения. *Нива Поволжья*. 2010. № 2. С. 1—6.
17. Ященко В. С., Арсеньева Л. Ю., Иванов С. В. Перебіг основних процесів у тісті з білковими збагачувачами в умовах підвищеного тиску. *Хлібопекарська і кондитерська промисловість України*. 2013. № 9(106). С. 6—9.

USE OF NON-TRADITIONAL RAW MATERIALS IN BREWING AND THEIR EFFECT ON INDICATORS OF PREPARED BEER

Z. Romanova, O. Romanov, V. Terletskaia

National University of Food Technologies

Key words:

Beer
Raw
Mash
Hop
Tarragon
Organoleptic indexes

Article history:

Received 03.07.2020
Received in revised form
20.07.2020
Accepted 13.08.2020

Corresponding author:

Z. Romanova
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The article summarizes information data of the study of the composition of non-traditional raw materials with the identification of the most optimal to improve the organoleptic and physicochemical parameters of the finished beer and at the same time to help to reduce the cost of the finished product. The influence of partial replacement of hop with unconventional raw materials on the performance of finished beer has been studied. Wormwood was chosen for replacement.

The introduction of the calculated amount of hop and wormwood in the wort was carried out at the stage of boiling. Hop was put after 15 minutes after beginning of boiling. Wormwood was applied 15 minutes before the end of boiling. The whole process took 60 min at the same temperature for all samples. Experimental studies were conducted in the research laboratory of the Department of Fermentation Products and Winemaking of NUFT. All physicochemical parameters for beer with the addition of wormwood as hop substitute were determined on a beer analyzer, which is characterized by high accuracy of the results.

It was established that the optimal condition for partial replacement of hop with wormwood was a dried plant (leaves and stems), as it did not require long-term processing and gave optimal indicators of bitterness and polyphenols. At partial replacement of hop by wormwood more than 30% of organoleptic indicators of the sample of beer worsened. There was a persistent bitter wormwood aftertaste.

The optimal ratio of hop and wormwood, which is 80/20%, was determined experimentally. This ratio has a positive effect on the organoleptic characteristics of the finished beer. Partial replacement of hop with wormwood does not change the content of polyphenols in the finished beer, which has a positive effect on colloidal stability and increases the shelf life of new type of beer.

ВИКОРИСТАННЯ НЕТРАДИЦІЙНОЇ СИРОВИНИ ТА ЇЇ ВПЛИВ НА ПОКАЗНИКИ ГОТОВОГО ПИВА

З. М. Романова, О. С. Романов, В. А. Терлецька

Національний університет харчових технологій

У статті узагальнено інформаційні дані щодо дослідження складу нетрадиційної сировини з виявленням найбільш оптимальної, яка поліпшить органолептичні та фізико-хімічні показники готового пива і в той же час сприятиме зниженню собівартості готового продукту. Досліджено вплив часткової заміни хмелю нетрадиційною сировиною на показники готового пива. Для заміни обрано полин гіркий.

Внесення розрахованої кількості хмелю та полину гіркого в сусло проводили на етапі його кип'ятіння. Хміль задавали однією порцією після 15 хв кипіння. Полин гіркий задавали за 15 хв до кінця кип'ятіння. Весь процес проходив 60 хв за однакових температурних режимів для всіх зразків. Експериментальні дослідження проводились у науково-дослідній лабораторії кафедри продуктів бродіння і виноробства Національного університету харчових технологій. Усі фізико-хімічні показники для пива з додаванням заміника хмелю полину гіркого визначали на аналізаторі пива, який характеризується високою точністю отриманих результатів.

Встановлено, що оптимальною кондицією для часткової заміни хмелю полином гірким є висушена рослина (листя і стебла), оскільки вона не потребує тривалої обробки та дає оптимальні показники за вмістом гіркоти та поліфенолів. При частковій заміні хмелю полином гірким більш ніж 30% погіршуються органолептичні показники зразку пива. З'являється стійкий гіркий виражений полиновий післямак.

Дослідним шляхом визначено оптимальне співвідношення хмелю та полину гіркого, яке складає 80/20%. Таке співвідношення позитивно впливає на органолептичні показники готового пива. Часткова заміна хмелю полином гірким практично не змінює вміст поліфенолів у готовому пиві, що позитивно впливає на колоїдну стійкість і збільшує терміни зберігання нового сорту пива.

Ключові слова: пиво, сировина, сусло, хміль, полин гіркий, органолептичні показники.

Постановка проблеми. Пиво вважається одним з найпопулярніших алкогольних напоїв у світі. Саме тому пивоваріння в Україні є досить перспективною галуззю, яка з кожним роком розширюється завдяки впровадженню нових технологій, сучасного обладнання й оригінальних рецептур. Кілька років тому в Україні з'явився ще один учасник ринку, який почав функціонувати поряд з великими пивоварними заводами — крафтові броварні. Більшість крафтових броварень знаходяться на заході України та в Києві. Основною причиною популярності крафтового пивоваріння є можливість запропонувати споживачеві нетрадиційні, авторські сорти пива. Додавання до пива нетрадиційної рослинної

сировини покращує фізико-хімічні та органолептичні показники, підвищує стійкість пива до помутніть та надає напою особливого смаку, що відрізняє його від інших напоїв.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Популярність крафтового пивоваріння — це можливість запропонувати споживачеві нетрадиційні сорти пива, які поєднують у собі всі переваги класичного пива з додаванням оригінальних компонентів, що поліпшують фізіологічні й органолептичні якості продукту [3].

Найпоширенішими для використання на території України є трави та пряно-ароматична сировина: коріандр, кориця, ваніль, перець, мускатний горіх, м'ята, меліса, кропива, ромашка, полин, молоді пагони ялини, ялівець тощо. Всі ці інгредієнти використовуються як основна або як замітник основної сировини у виробництві різних сортів пінного напою. [1; 3; 4; 20].

Дикорослі плоди та ягоди є джерелом мінеральних сполук, вітамінів, органічних кислот, макронутрієнтів тощо. Їхня цінність як лікарської та харчової сировини визначається комплексом біологічно активних речовин, зокрема якісним і кількісним складом, синергізмом дії та високим ступенем засвоєння живим організмом. Включення фітоекстрактів до складу харчових продуктів, особливо позбавлених вираженого смаку, запаху і кольору, значно поліпшує їхні органолептичні показники завдяки природним барвникам та ефірним оліям. Наявність антиоксидантів, фітонцидів, ряду органічних кислот у фітокомпозиціях сприяє подовженню термінів зберігання напоїв [2; 3]. У процесі виробництва пива допускається використання харчових продуктів та матеріалів, дозволених органами охорони здоров'я України або чинною нормативною документацією [6; 11].

Імбир, як і інші лікарські рослини, містить дуже складну суміш компонентів, серед яких бета-каротин, капсаїцин, кофеїнова кислота, куркумін. Крім цього, до складу імбиру входять багато амінокислот, а також вітаміни С, В₁, В₂, А. Імбир належить до рослин, що стимулюють процеси обміну речовин. Оскільки до його складу входить велика кількість біологічно активних речовин, імбир має високу антиоксидантну активність. Завдяки цьому останнім часом він є об'єктом досліджень багатьох вчених (А. Є. Мелетьєв, В. М. Кошова та ін. [4; 8]. Хвоя, лат. *Pinóphyta* или *Coniferae* (ялина, ялиця, кипарис, кедр, тис), містить дубильні речовини, вітаміни (каротин, вітамін Е, вітамін В, аскорбінова кислота), хлорофіл. У ялиновій хвої багато амінокислот, зокрема й незамінних [20].

У пропонованому дослідженні для часткового замітника хмелю обрано рослину сировину, властивості і склад якої наведено нижче.

Полин (нехворощ) — рід рослин родини айстрових, який включає 200—500 видів. Для пивоваріння придатний тільки полин гіркий (*Artemisia Absinthium*) [15].

Полин гіркий (*Artemisia Absinthium*) — багаторічна трав'яниста рослина з нерозгалуженим стрижнеподібним коренем. Стебла розгалужені, ребристі, у верхній частині сильно розгалужені, висотою 50—100 см. Нижні стеблові листки довгочерешкові, двічі або тричі перисторозсічені, стеблові листки розміщені по чергово та мають довгочерешкову будову, верхівкові — сидячі, цільні або трироздільні. Вся рослина ззовні покрита сріблястими волосками і має своєрідний

«полиновий» запах. Квітки трубчасті, жовті, кулястої форми або форми ковша діаметром 2,5—4 мм, зібрані в суцвіття. Плід — сім'янка. Цвіте в червні-серпні, плоди дозрівають у вересні—жовтні.

Рослина поширена по всій території України. Найбільш поширена у Хмельницькій, Вінницькій, Київській, Черкаській, Полтавській, Харківській, Кіровоградській, Дніпропетровській, Луганській, Одеській, Херсонській і Миколаївській областях. Запаси сировини значні [15; 21].

Вміст речовин і вітамінів у 100 г полину гіркого наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Вміст речовин і вітамінів у 100 г подрібненого полину гіркого

Основні сполуки:	г	Мінерали:	мг	Вітаміни:	мг
Вода	7,74	Калій	3020	С	50
Білки	22,77	Кальцій	1139	РР	8,950
Жири	7,24	Магній	347	В ₆	2,410
Вуглеводи	50,22	Фосфор	313	В ₂	1,339
Харчові волокна	7,4	Натрій	62	В ₉	0,274
		Залізо	32,3	В ₁	0,251
		Цинк	3,9	А	0,21

Завдяки такому складу продукти на основі полину гіркого володіють: проти-запальними, кардіостимулюючими, бактерицидними, спазмолітичними, імуно-стимулюючими, седативними й тонізуючими властивостями. Тож переваги використання цієї рослини як часткового замітника хмелю такі: поширеність на території України; завдяки хімічному складу, що містить дубильні речовини, флаваноїди та інший ряд сполук підвищують стійкість пива до помутніть, тобто збільшується термін його зберігання та піностійкість; розширення асортименту пива; оздоровчий (лікувальний) ефект на організм; має антисептичний ефект.

Мета дослідження: узагальнення інформаційних даних щодо дослідження складу нетрадиційної сировини з виявленням найбільш оптимальної, яка поліпшить органолептичні та фізико-хімічні показники готового пива і в той же час сприятиме зниженню собівартості готового продукту.

Матеріали і методи. Під час досліджень використана нормативна докумен-тація та відповідні методики згідно з нормативними документами [11; 12]. Зразки досліджували на вміст загального азоту, сухих речовин, величину гіркоти, спо-стерігали за динамікою зброджування, визначали рН і титровану кислотність, вміст фенольних компонентів. Фізико-хімічні показники готового пива визнача-ли на аналізаторі пива РВА-В.

Викладення основних результатів дослідження. Для приготування почат-кового сусла було обрано солод світлий і воду підготовлену. Приготування сусла відбувалось за класичною технологією виготовлення пива. Отримане сусло з оптимальними показниками для пивоварного виробництва розділили на частини для подальших досліджень [5; 6].

Обирали хміль і його замітник для отримання пива з необхідними параметрами. Для вибору хмелю були обрані зразки вітчизняних виробників: Клон 18, Слов'янка, Промінь та Октава. Нормували хміль не тільки за вмістом α -кислот, а й також з урахуванням оптимального використання поліфенолів, тобто комплексу всіх цінних речовин хмелю. Зважаючи на це, для виготовлення пива було обрано хміль Слов'янка [13; 14].

Частковим заміником хмелю обрано полин гіркий. Для вибору оптимальної кондиції полину гіркого проведено дослідження, результати яких наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Показники кондиції полину гіркого, дослідженого в умовах експерименту

Стан рослини	Показники				
	Наважка рослини, г	Об'єм екстрагента, дм ³	Час настоювання, дні	Величина гіркоти, од ЕВС	Внесено поліфенолів, мг/дм ³
Свіжа рослина, подрібнена	1	—	—	34	78,4
Висушена рослина, подрібнена	1	—	—	35	83,1
Екстракт спиртовий, 55% об.	1	0,0025	5	36	84,4
Екстракт водний	1	0,0025	2	32	77,5

Проаналізувавши отримані результати (табл. 1), обрали використання висушеного полину гіркого (стебла та листя), оскільки додавання його забезпечує збалансованість показників гіркоти та вмісту поліфенолів у суслі без витрат на дорогі екстрагент та час екстрагування [16].

Підбиралась необхідна кількість хмелю та його замітника — полину гіркого для отримання необхідної гіркоти пива. В табл. 3 представлено кількість хмелю та його замітника, яку було обрано для внесення в сусло (пиво), включаючи і контрольний зразок.

Таблиця 3. Підбір співвідношення хмелю та його замітника у зразках пива

№ Зразка	Кількість хмелю, внесеного в сусло, г/дм ³	Кількість замітника хмелю, внесеного в сусло, г/дм ³	Гіркота проєктованого пива, од ЕВС	Відсоткове співвідношення хмелю до замітника, %
1 (Контроль)	0,5	—	15	100/0
2	0,36	0,08		80/20
3	0,32	0,11		70/30
4	0,25	0,2		50/50

Було проведено внесення розрахованої кількості хмелю та полину гіркого в сусло в процесі його кип'ятіння. Хміль задавали однією порцією після 15 хв кипіння. Полин гіркий задавали за 15 хв до кінця кип'ятіння. Весь процес проходив 60 хв за однакових температурних режимів для всіх зразків за класичною схемою кип'ятіння. Параметри отриманих зразків сусла наведені в табл. 4.

Таблиця 4. Параметри зразків досліджуваного суслу

№ зразка (відношення хміль/полін, %)	Час кип'ятіння, хв	Вміст сухих речовин у суслі після кип'ятіння, % мас.	pH, од.	Загальний азот, мг/дм ³	Коагульований азот, мг/дм ³	Вміст диметилсульфіту, мкг/дм ³	Гіобарбітурове число, од ЕВС
1 (Контроль)	60	13,6	4,9	1098	20	66	43
2 (80/20)		13,8	5,06	1086	18	64	46
3 (70/30)		13,7	5,1	1093	19	65	45
4 (50/50)		13,5	5,21	1096	19	65	44

З табл. 4 видно, що зразки 2 і 3 мають оптимальні значення показників порівняно з контролем. Зокрема, вміст диметилсульфіту має менші значення.

Таблиця 5. Органолептичні показники та балова оцінка зразків пива з додаванням замітника хмелю — полину гіркого

№ зразка (хміль/полін)	Аромат (від 1 до 4)	Смак (від 1 до 5)	Прозорість (від 0 до 3)	Колір (від 0 до 3)	Гіркота (0 до 5)
1	2	3	4	5	6
1 (контроль)	Відмінний, відповідає типу пива, чистий, яскраво виражений (4)	Відмінний, повний, чистий, без сторонніх присмаків, відповідає типу пива (5)	Прозоре, з легкою опалесценцією (2)	Відповідає типу пива, що перебуває на встановленому мінімальному рівні (3)	Чисто хмелюва, гармонійна (5)
(80/20)	Добрий аромат, що відповідає типу пива (3)	Відмінний, повний, чистий, без сторонніх присмаків, відповідає типу пива (5)	Прозоре, з легкою опалесценцією (2)	Відповідає типу пива, що перебуває на встановленому мінімальному рівні (3)	М'яка, гармонійна, залишкова, не зовсім зглажена (4)
3(70/30)	Добрий аромат, що відповідає типу пива (3)	Добрий, чистий, недостатньо виражений (4)	Прозоре, з легкою опалесценцією (2)	Відповідає типу пива, що перебуває на встановленому мінімальному рівні (3)	М'яка, гармонійна, залишкова, не зовсім зглажена (3)
4(50/50)	Добрий аромат, що відповідає типу пива (3)	Не зовсім чистий, задовільний (3)	Прозоре, з легкою опалесценцією (2)	Відповідає типу пива, що перебуває на встановленому мінімальному рівні (3)	Грубувата, залишкова, не зовсім зглажена (2)

У процесі одержання пива істотний вплив на накопичення ДМС у готовому продукті мають процеси затирання зернопродуктів, тривалість перебування

сусла у «вірпулі» (осаджувач), процеси ферментації, фізіолого-біохімічні особливості раси дріжджів, але найбільший вплив на перетворення попередників ДМС і видалення вільного ДМС відіграють процеси кип'ятіння сусла з хмелем [7; 9]. У процесі приготування сусла на стадії його кип'ятіння з хмелем відбувається найінтенсивніше термічне розщеплення SMM у вільний ДМС. Період напіврозпаду залежить від температури і тривалості кип'ятіння. Більша частина вільного ДМС випаровується вже через 30 хв після початку кип'ятіння (рис. 2). Період напіврозпаду збільшується при вищих значеннях рН. Очевидно, полин впливає на величину рН і стимулює процес розщеплення SMM.

На подальших етапах дослідження проводилось завершення приготування зразків пива (фільтрування сусла від хмелевої дробини, охолодження охмеленого сусла, внесення дріжджів, зброджування та дозрівання готового пива). Всі процеси проводились за класичною технологією приготування пива

Найбільш повну і комплексну оцінку якості пива як смакового продукту надають його органолептичні показники, що визначилися під час дегустації за допомогою органів чуття [5; 18]. Після визначення фізико-хімічних показників готового пива була проведена закрита дегустація для отримання об'єктивної й узагальненої оцінки прозорості, кольору, смаку, аромату, хмелевої гіркоти, насиченості діоксидом вуглецю, піноутворення та піностійкості пива (табл. 5). Модульна система вимірювання Alcolyzer Beer від Anton Paar визначає щільність, початковий екстракт, CO₂ та інші важливі параметри якості пива і пивних сумішей. Зразок забирається прямо з оригінальної упаковки, тому аналіз відбувається швидше і точніше, ніж в інших системах.

Органолептичні показники пива з додаванням замітника хмелю — полину гіркого, найкращі у пиві зразка 2.

Органолептичні показники досліджуваних зразків пива наведено на рисунку.

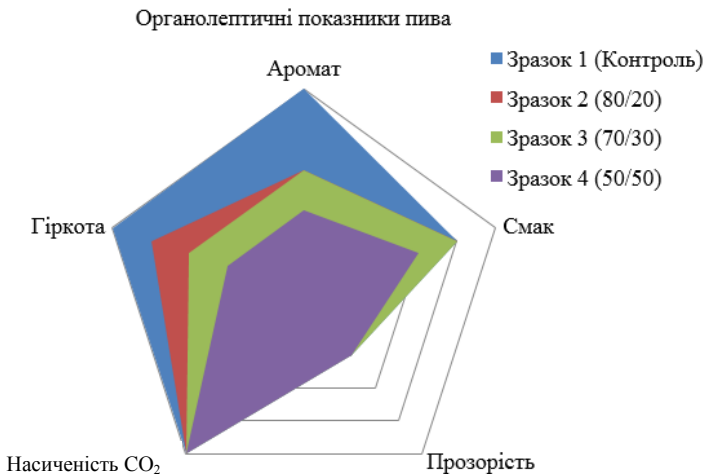


Рис. Органолептичні показники досліджуваних зразків пива

Фізико-хімічні показники хмелю наведено в табл. 6.

Таблиця 6. Фізико-хімічні показники зразків пива з додаванням замітника хмелю — полину гіркого

	1 (контроль)	2 (80/20)	3 (70/30)	4 (50/50)
pH, од	4,63	4,65	4,64	4,68
Екстракт, % мас				
Видимий	2,45	2,47	2,48	2,43
Дійсний	4,12	4,18	4,20	4,13
Вміст СР у початковому суслі, % мас.	11,2	11,2	11,2	11,2
Вміст спирту				
% мас	3,62	3,59	3,60	3,64
% об	4,58	4,63	4,64	4,69
Колір, ЕВС	12,97	12,83	12,94	12,23
Дійсний ступінь зброджування, %	65,20	65,12	65,10	65,14
Вміст CO ₂ , г/дм ³	1,52	1,51	1,52	1,53
Гіркота, ЕВС	15,4	15,4	15,3	15,3
Внесено поліфенолів, мг/дм ³	30,89	28,88	28,9	32,06

За результатами досліджень зроблено висновок, що найкращий результат порівняно з контрольним зразком (зразок 1) має зразок 2 (відношення хмелю до полину — 80/20). Зразок 4 (відношення хмелю до полину — 50/50) показав найгірші органолептичні показники, що свідчить про те, що зі збільшенням відсоткової частки полину погіршуються органолептичні властивості готового пива.

Висновки

1. Оптимальною кондицією для часткової заміни хмелю полином гірким є висушена рослина (листя і стебла), оскільки вона не потребує тривалої обробки та дає оптимальні показники за вмістом гіркоти та поліфенолів.

2. Дослідним шляхом встановлене оптимальне співвідношення хмелю та полину гіркого, яке складає 80/20%. Таке співвідношення позитивно впливає на органолептичні показники готового пива.

3. Встановлено, що при частковій заміні хмелю полином гірким більш ніж на 30% погіршуються органолептичні показники зразка пива. З'являється стійкий гіркий полиновий післясмак.

4. Часткова заміна хмелю полином гірким практично не змінює вміст поліфенолів у готовому пиві, що позитивно впливає на колоїдну стійкість і збільшує терміни зберігання нового сорту пива.

Література

1. Антиоксидантні характеристики рослинної сировини у створенні алкогольної продукції / О. В. Кузьмін, І. А. Оносова та ін. *Вісник ДонНУЕТ*. 2012. № 1(53). Технічні науки. С. 198—209.
2. Дедегкаєв А. Т. Пути повышения коллоидной стойкости пива. *Индустрия напитков*. 2011. № 1. С. 8—11.
3. Омельчук С. В., Мельник І. В., Головченко В. М. Використання нетрадиційної рослинної сировини в пивоварінні для створення спеціальних сортів пива. *Харчова наука і технологія*. 2011. № 3(16). С. 56—58.

4. Данилова Л. А., Березка Т. О., Домарецький В. А., Ганчук В. Д. Природні антиоксиданти. *Харчова та переробна промисловість*. 2008. № 1. С. 25—27.
5. Ермолаева Г. А., Колчева Р. А. Технология и оборудование производства пива и безалкогольных напитков. М.: «Академия». 2000. 416 с.
6. Ермолаева Г. А. Справочник работника лаборатории пивоваренного предприятия. СПб.: Профессия, 2004. 536 с.
7. Кунце В., Мит Г. Технология солода и пива: учебн. / пер. з нем. СПб.: Профессия, 2009. 1100 с.
8. Мелетьев А. С., Проценко Л. В., Дерій О. І. Економія хмелю у пивоварінні при заміні частки солоду цукровмісною сировиною. *Харчова наука і технологія*. 2010. № 3. С. 67—68.
9. Меледина Т. В., Дедегкаев А. Т. Коллоидная стойкость пива: учебн. пособие, СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. 90 с.
10. Нарцисс Л., Бака В. Краткий курс пивоварения / пер. с нем. А. А. Куреленкова. СПб.: Профессия, 2007. 640 с.
11. Пиво. Загальні технічні умови: ДСТУ 3888:2015. [Чинний від 2015-05-28]. К.: Держспоживстандарт України, 2015 р. 17 с. (Національний стандарт України).
12. Прист Ф. Дж., Кэмпбелл Й. Микробиология пива / пер. с англ. под общ. ред. Т. В. Мелединой и Тыну Сойдла. СПб.: Профессия, 2005. 368 с.
13. Рослинництво. Гранули хмелю. Технічні умови: ДСТУ 7028:2009. [Чинний від 2009-07-01]. К.: Держспоживстандарт України, 2015 р. 24 с. (Національний стандарт України).
14. Найпопулярніші сорти хмелю: веб-сайт. URL: <https://hop.net.ua/uk/hops> (дата звернення: 12.10.2019).
15. Сам собі пивовар: веб-сайт. URL: <https://www.google.com.ua/search?client=opera&q=Полин+у+пивоварінні>.
16. Kretova Y. I. Prospects for the use of unconventional raw materials in brewing technology: domestic and foreign experience. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*. 2017. Vol. 5, no. 4. P. 12—18.
17. Mussche R. Proceedings of 21 st. Convention. Inst. Brew. N. Zealand-Australia, 1990. P. 136—140.
18. Kosiv Ruslana, Kharandiuk Tetiana, Polyuzhyn Lyubov, Palianytsia Liubov, Berezovska Natalia. Optimization of main fermentation of high-gravity wort / *Chemistry & Chemical Technology*. 2016. Volume 10, number 3. P. 349.
19. Меньщикова Е. Б., Зенков Н. К., Ланкин В. З. Окислительный стресс. Патологические заболевания и состояния. Новосибирск, 2008. 283 с.
20. Пенкіна Н. М., Татар Л. В. Дослідження токсикологічного впливу пива з додаванням екстракту хвої сосни на організм біологічних об'єктів. *Український біофармацевтичний журнал*. 2017. № 2(49). С. 4—8.
21. Формування якості пива з додаванням нетрадиційної рослинної сировини: дис. ... канд. т. наук: 05.18.15 / Харків. ун-т. харчув. та торгівлі. Харків, 2018. 392 с.

RESEARCH OF ADSORPTION ACTIVITY OF ACTIVATED AND MODIFIED CARBON FIBER FOR CLEANING OF SORTING

I. Samchenko, S. Oliynyk

National University of Food Technologies

Key words:

*Liqueur-vodkas industry
Water-alcohol mixture
Filtering
Stability
Efficiency*

Article history:

Received 01.07.2020
Received in revised form
15.07.2020
Accepted 06.08.2020

Corresponding author:

S. Oliynyk
E-mail:
lana_ol@ukr.net

ABSTRACT

The main physicochemical characteristics were determined, the adsorption activity was investigated and a method of cleaning the sorting with the help of synthetic fibers — activated carbon fiber and activated modified carbon fiber was proposed. Quality indicators of carbon materials, sorting before and after its processing were determined by standardized methods using physicochemical, capillary electrophoretic and spectrometric methods of analysis, as well as generalization and comparison of experimental results using a systematic approach.

The sorption characteristics of the studied materials were determined. It was found that the activated modified carbon fiber had the best total pore volume by water and adsorption activity by iodine, alkalinity of the aqueous infusion more than 1.25 times, which confirms the amount of basic oxides by almost 20%. Adsorption activity by basic and acid groups also indicates better catalytic processes on the fiber surface during sorting processing, as well as better tasting evaluation.

According to the results of determining the chemical resistance, it was found that the chemical resistance of the activated modified carbon fiber was higher compared to ACF. When the activated modified carbon fiber was aged in distilled water, no leaching of impurities was observed, and a smaller increase in the mass concentration of calcium, magnesium, sulfates, chlorides and silicates was observed in the hydrochloric acid solution. When kept in the solution of sodium hydroxide increase in the mass concentration of magnesium, sulfates, chlorides in 2 times was revealed. The higher chemical resistance of the activated modified carbon fiber makes it possible to reduce the relative volume of water prepared for washing from residual ash and dust.

Minor changes in the microcomponent composition were observed in the water-alcohol mixture during exposure with activated modified carbon fiber. The high chemical resistance of activated carbon fiber and activated modified carbon fiber makes it possible to reduce the number of corrective and irreparable defects when draining from the column after stops.

ДОСЛІДЖЕННЯ АДСОРБЦІЙНОЇ АКТИВНОСТІ АКТИВОВАНОГО ТА МОДИФІКОВАНОГО ВУГЛЕЦЕВОГО ВОЛОКНА ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СОРТІВОК

І. О. Самченко, С. І. Олійник

Національний університет харчових технологій

У статті визначено основні фізико-хімічні характеристики, досліджено адсорбційну активність та запропоновано спосіб очищення сортівки за допомогою синтетичних волокон — активованого вуглецевого волокна й активованого модифікованого вуглецевого волокна.

Показники якості вуглецевих матеріалів, сортівки до та після її обробки визначено за стандартизованими методиками із застосуванням фізико-хімічних, капілярно-електрофоретичних і спектрометричних методів аналізу, а також узагальнення й порівняння результатів експериментальних досліджень з використанням системного підходу. Також визначено сорбційні характеристики досліджуваних матеріалів. Встановлено, що активоване модифіковане вуглецеве волокно має кращий загальний сумарний об'єм пор за водою та адсорбційну активність за йодом, лужність водного настою більш ніж 1,25 раза, що підтверджує більша майже на 20% кількість основних оксидів.

Адсорбційна активність за основними та кислотними групами також вказує на кращий перебіг каталітичних процесів на поверхні волокна під час обробки сортівки, а також кращу дегустаційну оцінку.

За результатами визначення хімічної стійкості виявлено, що хімічна стійкість активованого модифікованого вуглецевого волокна вища порівняно з АВВ. При витримці активованого модифікованого вуглецевого волокна в дистильованій воді вилужування домішок не проявлялось, а в розчині соляної кислоти спостерігався менший приріст масової концентрації кальцію, магнію, сульфатів, хлоридів і силікатів. При витримці в розчині гідроксиду натрію виявлено менший приріст масової концентрації магнію, сульфатів, хлоридів удвічі. Вища хімічна стійкість активованого модифікованого вуглецевого волокна дає змогу зменшити відносний об'єм води, підготовленої на відмивання від залишкових кількостей зольних речовин і пилу.

Менші зміни мікрокомпонентного складу спостерігаються у водно-спиртовій суміші під час витримки з активованим модифікованим вуглецевим волокном. Висока хімічна стійкість активованого вуглецевого волокна й активованого модифікованого вуглецевого волокна дає змогу зменшити кількість виправного та невиправного браку при зливі з колони після зупинок.

Ключові слова: горілчане виробництво, водно-спиртова суміш, очищення, вуглецеве активоване та модифіковане волокно, активність, сорбційні властивості.

Постановка проблеми. Якість горілок і горілок особливих залежить від вихідних інгредієнтів спирту етилового ректифікованого і води підготовленої, а також способу очищення водно-спиртових сумішей (сортівок, ВСС). Очищення водно-спиртової суміші активним вугіллям (АВ) є одним з найбільш важливіших етапів у технології приготування горілок і горілок особливих [1]. Завдяки цій

стадії сортівки під впливом АВ набуває характерного горілчаного аромату й смаку [2].

На сьогодні у виробничій практиці горілчаних заводів України використовують відповідно до чинного Виробничого технологічного регламенту на виробництво горілок та горілок особливих такі основні способи очищення ВСС [1]:

- динамічний спосіб, що полягає в послідовному очищенні бортівки у вугільно-очисній батареї через одну або дві послідовно з'єднані колони, які завантажено активним вугіллям,

- спосіб послідовної обробки сортівки порошкоподібним АВ за подальшої обробки динамічним способом,

- спосіб послідовної обробки сортівки динамічним способом з подальшою обробкою системою адсорбційно-фільтрувальних елементів.

У вугільних колонах вугільно-очисної батареї використовують активне деревне вугілля марки БАУ-А, БАУ-ЛВ або АВ, одержане зі шкаралупи кокосових горіхів чи кісточок плодів фруктових дерев — персика, абрикоса, сливи, яке в Україні не виготовляють, тож воно надходить з Росії, Шри-Ланки, США, Німеччини тощо [1; 3—6]. Крім того, дослідження, які були проведені протягом останнього десятиліття, підтвердили, що вугілля наведених марок не задовольняє сучасні вимоги виробників високоякісної горілчаної продукції [1; 3—6]. Основними недоліками використання є [1; 3—7]:

- складне керування процесом унаслідок неритмічної роботи лікєро-горілчаних заводів;

- необхідність значного підвищення швидкості обробки сортівки через збільшення масової концентрації альдегідів за рахунок інтенсивних каталітичних процесів;

- збільшення витрат АВ, тому що насипна густина та фракційний склад матеріалу не є стабільними. У колоні матеріал самосортується, неоднорідно розташовується, швидко руйнується, внаслідок чого швидкість руху сортівки за поперечним перерізом колонки неоднакова;

- збільшення витрат підготовленої води під час підготовки нового активного вугілля до основного виробничого циклу очищення сортівки внаслідок високої зольності, особливо деревного АВ;

- зменшення ресурсу роботи за рахунок каналотворення, самосортування, пристінкового ефекту, а також збільшення об'єму водно-спрєтової суміші (ВСС) під час обдержки АВ до досягнення стабільної міцності бортівки;

- неможливість багаторазового використання через неефективність регенерації парою, неможливість періодичної роботи і значні витрати під час підготовки до роботи і експлуатації.

Також суттєвим недоліком динамічного способу очищення є необхідність безперервної роботи вугільних колон за рекомендованої регламентом продуктивності, оскільки зменшення швидкості до 5 дал/год призводить до погіршення якості горілки, збільшення вмісту альдегідів ВСС до 5 разів, а зупинка на декілька діб — до 50 разів [1; 3—6].

На початку ХХІ ст. набули широкого поширення системи адсорбційно-фільтрувальних елементів срібної фільтрації, золотої фільтрації та платинової фільтрації (Росія) [1; 8]. Ці системи використовують після вугільних колон для додаткового очищення ВСС з метою підвищення органолептичних показників. В основі цієї технології доочищення лежить використання імпрегнованого АВ, при

цьому ефект досягається за рахунок нанесення срібла, золота чи платини (вміст 0,05—0,11%) на зарубіжні АВ зі шкаралупи кокосу марок AGC 0,05 і 0,1 на основі 207С або AGC 0,4 на основі 607С чи спеціальну нитку [1; 8; 9].

АВ марок БАУ-А, БАУ-ЛВ тощо, що застосовуються для очищення ВСС, мають лужний характер: вміст груп основного характеру становить 0,64—0,70 ммоль/г, кислотного характеру 0,15—0,17 ммоль/г, водневий показник водно-спиртової витяжки становить 8—12 одиниць, при цьому адсорбційна активність за лужністю водного настою становить 2—12 см³/0,1 см³ розчину соляної кислоти с(НСІ)=0,01 моль/дм³, оцтової кислоти — 60—80 см³ для деревного активного вугілля та 80—160 для кісточкових [10]. Тож на поверхні непідготовленого та додатково необробленого АВ переважають групи основного характеру, тому під час очищення сортівки відбувається часткова хемосорбція кислих груп з ВСС, що сприяє підвищенню водневого показника очищеної сортівки та збільшення масової концентрації альдегідів. Це призводить до погіршення якості готового продукту. Застосування систем адсорбційно-фільтрувальних елементів здійснюється за високих швидкостей фільтрації (до 1200 дал/год), потребує ретельного розрахунку кількості і висоти фільтр-елементів та об'єму АВ в них.

Імпрегноване сріблом АВ з метою визначення дисперсності нанесених каталізаторів досліджено з використанням малокутового розсіювання рентгенівських променів [11]. Доведено, що металеві каталізатори на поверхні АВ знаходяться у вигляді частинок, розміри яких більші за розміри мікропор, тобто переважно розташовуються не в мікропорах, а на поверхні мезопор і на поверхні макропор. Оскільки процеси очищення ВСС відбуваються в мікропорах, тобто срібло бере участь у цих процесах побічно і основну роль відіграють мікропори АВ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Створенню науково-практичних основ очищення ВСС ефективними способами та сучасними матеріалами під час виробництва горілок і горілок особливих присвячені праці В. А. Полякова, С. С. Морозової, І. І. Бурачевського, А. В. Тарасова, В. П. Ковальчука, А. Н. Макеєвої, В. О. Маринченка, І. Л. Славської, Л. М. Мельник та ін. [1; 2; 4—10; 13—15].

На сьогодні цікавим є застосування нових типів установок з невеликими габаритними розмірами та широким діапазоном продуктивності, а також сорбційних матеріалів з низькою каталітичною та сорбційною активністю для очищення ВСС. Такими є зокрема установки «ZetaCarbon» (Росія) дискового типу з фільтрувальними матеріалами «Зета Карбон», в яких частинки активного вугілля утримуються волокнами целюлози, спеціально введеної до складу матеріалу, а також імпрегнованої позитивно зарядженої смоли [16; 17].

Т. А. Єрмаковою та ін. запропоновано використання для очищення ВСС вуглецевих наноматеріалів — нанотрубок, що являють собою витягнуті довгі (до декількох мікрометрів) трубки діаметром декілька нанометрів, поверхня яких виконана правильними шестичленими вуглецевими циклами [18—20]. Обробка сортівки нанотрубками сприяє зменшенню в ній вмісту вищих спиртів [17—19].

Основною складністю застосування запропонованих матеріалів у виробництві є необхідність створення додаткового фільтраційного обладнання та відпрацювання технологічних режимів на відповідній установці [17; 18].

Метою статті є дослідження адсорбційної активності активованого вуглецевого волокна для очищення сортівки.

Матеріали і методи. Об'єкт дослідження — технологія очищення водно-спиртової суміші при виробництві горілок. Предмет дослідження — активоване

вуглецеве волокно (АВВ) та активоване вуглецеве модифіковане волокно (АМВВ) для очищення сортівки.

АВВ та АМВВ — виготовлені на основі синтетичних волокон, є мікропористими адсорбентами, основою яких є нетканий текстильний матеріал з активованим вугіллям. АВВ — новий тип високоефективного адсорбційного матеріалу, виготовленого з волокнистого попередника, активованого певним процесом карбонізації. АМВВ — високоефективний адсорбційний матеріал, виготовлений на основі волокнистого попередника, активованого певним процесом карбонізації та модифікації. АВВ та АМВВ мають розвинуту однорідну мікропористу структуру з діаметром мікропор 1—2 нм, товщина матеріалу — 5,0 мм. Матеріали не викликають розсіювання пилу і вугільного порошку, запобігаючи забрудненню навколишнього повітря.

Визначали основні показники сорбційної та каталітичної активності АВВ та АМВВ:

- адсорбційна активність за йодом згідно з [21];
- адсорбційна активність за водою та ВСС згідно з [21];
- адсорбційна активність за оцтовою кислотою згідно з ДСТУ 7508 [22];
- лужність водного настою, см³ 0,01 н розчину соляної кислоти згідно з ДСТУ 7417 [23];
- адсорбційна активність за вмістом груп основного та кислотного характеру згідно з [11; 21].

Хімічну стійкість матеріалів визначали згідно з [24; 25] та ДСТУ 4165 [26]. Приготування ВСС здійснювали змішуванням спирту етилового ректифікованого сорту «Люкс» та води підготовленої з отриманням ВСС міцністю (40±0,3)% об. [1].

Прозорість ВСС визначали до та після підготовки матеріалів згідно з ДСТУ 5068 [27], фізико-хімічні показники — згідно з ДСТУ 4165 [26], ДСТУ 4222 [28]. Спектри оптичного поглинання промивних рідин і ВСС після «обдержки» та витримки — згідно з [21].

Під час досліджень застосовували також методи моделювання, планування та оброблення результатів.

Викладення основних результатів дослідження. Активоване та модифіковане вуглецеве волокно є допоміжним матеріалом, який використовують під час очищення сортівки, тому необхідним є визначення його основних показників сорбційної та каталітичної активності нового (до підготовки до роботи) АВВ та АМВВ (табл. 1, рис. 1). Адсорбційна активність за оцтовою кислотою та лужністю водного настою визначають каталітичну ресурсну властивість, активність за йодом — сорбційні властивості.

Таблиця 1. Основні показники сорбційної та каталітичної активності досліджуваних матеріалів

Назва показника	Результат випробувань для матеріалу (n=3; P≥0,95)	
	АВВ	АМВВ
1	2	3
Адсорбційна активність за йодом, %	35±1	45±1,5
Адсорбційна активність за водою, см ³ /г	0,6±0,05	0,65±0,05

Продовження таблиці 1

1	2	3
Адсорбційна активність за ВСС, см ³ /г	0,55±0,05	0,6±0,06
Адсорбційна активність за оцтовою кислотою, од.	40±5	50±5
Лужність водного настою, 0,1 см ³ розчину соляної кислоти c(HCl)=0,01 моль/дм ³	1,2±0,1	1,5±0,1

Встановлено, що АМВВ має у 1,28 раза більший загальний сумарний об'єм пор за водою та адсорбційну активність за йодом, лужність водного настою — у 1,25 раза, що підтверджується більшою на 19% кількістю основних оксидів (рис. 1).

Адсорбційна активність за основними та кислотними групами вказує на сприяння перебігу каталітичних процесів на поверхні волокна під час обробки сортивки, а також дегустаційну оцінку.

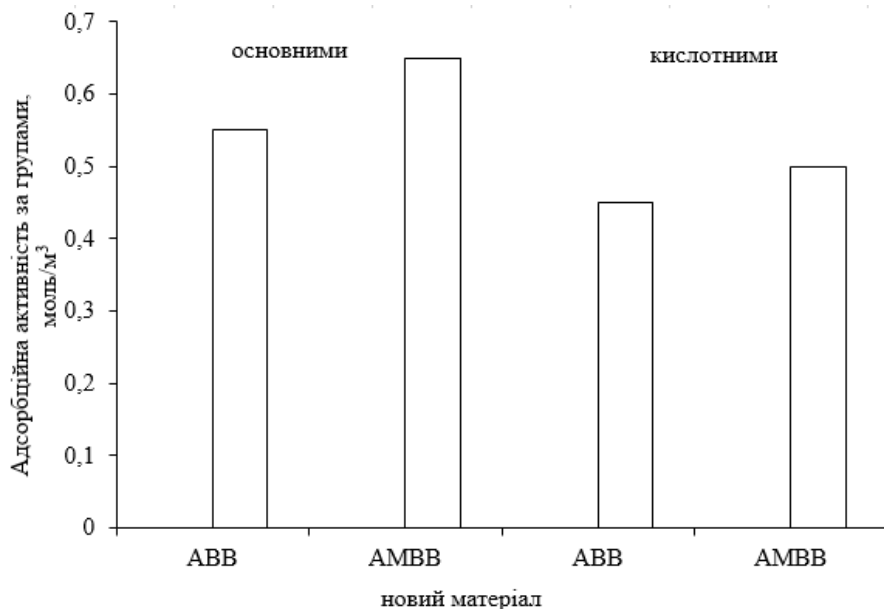


Рис. 1. Адсорбційна активність за основними та кислотними групами нових досліджуваних матеріалів

Сорбційні матеріали, що використовують для очищення сортівок досліджують за хімічною стійкістю в розчинах соляної кислоти, гідроксиду натрію, дистильованої води (табл. 2). Встановлено, що досліджувані зразки АВВ та АМВВ за всіма показниками відповідають чинним вимогам і мають мінімальні прирости за значеннями визначених показників.

Виявлено, що хімічна стійкість АМВВ є вищою порівняно з АВВ (табл. 2). При цьому під час витримки АМВВ у дистильованій воді вилужування домішок не проявлялось, а в розчині:

- соляної кислоти спостерігали менший приріст масової концентрації силікатів у 1,4 раза, кальцію, магнію, сульфатів, хлоридів — у 2 рази;

- гідроксиду натрію виявлено менший приріст масової концентрації магнію, сульфатів, хлоридів у 2 рази.

Таблиця 2. Хімічна стійкість досліджуваних зразків вуглецевого волокна ($n=3$; $P \geq 0,95$)

Приріст значення показника, одиниця виміру	Вимоги, не більше	Назва та концентрація розчину					
		соляна кислота, 5%		гідроксид натрію, 10%		дистильована вода	
		АВВ	АМВВ	АВВ	АМВВ	АВВ	АМВВ
Перманганатна окиснюваність, мг O_2 /дм ³	4,0	0,5	0,5	0,2	0,2	0,02	0,02
силікатів	5,0	0,07	0,05	0,05	0,05	0,01	0,01
заліза	0,2	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
кальцію	0,2	0,02	0,01	0,02	0,01	0,002	0,002
магнію	0,2	0,02	0,01	0,02	0,01	0,002	0,002
сульфатів	0,2	0,04	0,02	0,02	0,01	0,002	0,002
хлоридів	0,1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,002	0,002
фосфатів	0,2	0,04	0,02	0,02	0,01	0,002	0,002

Вища хімічна стійкість АМВВ сприяє зменшенню відносного об'єму води, підготовленої на відмивання від залишкових кількостей зольних речовин та пилу, у 1,25 раза (рис. 2). Відносний об'єм промивної рідини ВСС для промивки матеріалу після води підготовленої та доведення до стандартизованої міцності (обдержки) фільтрату є однаковими для АВВ та АМВВ (рис. 2). Одержані дані свідчать про забезпечення більш раціонального використання водних ресурсів, підвищення екологічності виробництва, а також зменшення питомих витрат водно-спиртової суміші та кількості утвореного виправного та невиправного браку.

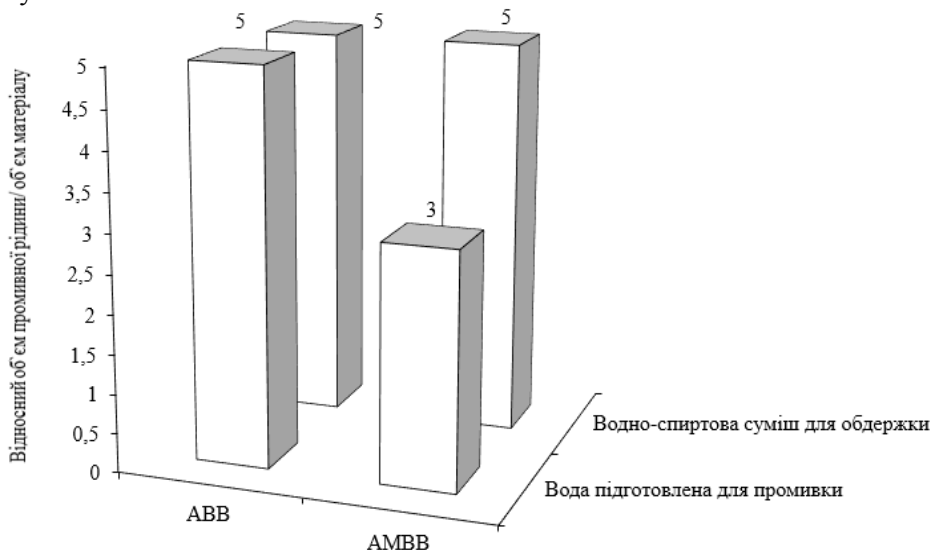


Рис. 2. Оптимальні технологічні параметри підготування вуглецевого волокна

У виробництві горілок сорбційний матеріал попередньо готують перед завантаженням його в колону або спеціальний додатковий фільтр з метою видалення

пилу та водорозчинних зольних елементів, зниження лужності із використанням води підготовленої.

Під час заповнення ВСС колони з матеріалом, що пройшов попередню підготовку, витримувати швидкісний режим (5 дал/год у перерахунку на стандартну колону висотою 4 м та діаметром 700 мм) для більш повного видалення повітря, насичення мікропор матеріалу молекулами етилового спирту, а також більш швидкого набору міцності. Після заповнення колони витримка (обдержка) становила 2 год.

Визначено залежність прозорості фільтрату від відносного об'єму рідини, що використовується на етапі промивки підготовленою водою та обдержки ВСС для стабілізації міцності сортівки (рис. 3), а також спектри оптичного поглинання ВСС на стадії підготування матеріалів до основного циклу очищення сортівки (рис. 4).

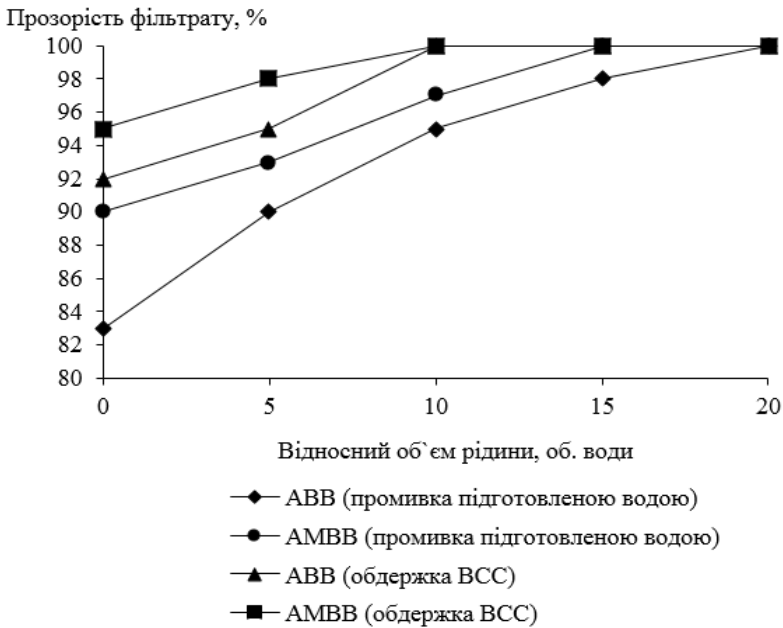


Рис. 3. Прозорість ВСС на стадії підготування матеріалів до основного циклу очищення сортівки

З рис. 3 видно, що для досягнення нормативного значення прозорості 98% фільтрату під час застосування AMBV порівняно з ABV необхідно використати менший відносний об'єм:

- води підготовленої у 1,1 раза;
- ВСС під час обдержки — у 1,03 раза.

На стадії підготування матеріалів до основного циклу очищення сортівки визначали прогнозовану ефективність очищення сорбційним матеріалом за спектрами оптичного поглинання ВСС оцінюванням властивостей органічних мікродомішок, наявних у сортівці і здатних поглинати світло в ультрафіолетовій

області спектра (рис. 4). Встановлено, що прогнозована ефективність очищення ВСС після обдержки за довжини світлової хвилі:

- 220 нм становить для АМВВ — 85%, АВВ — 83%;
- 260 нм становить для АМВВ — 10%, АВВ — 8%.

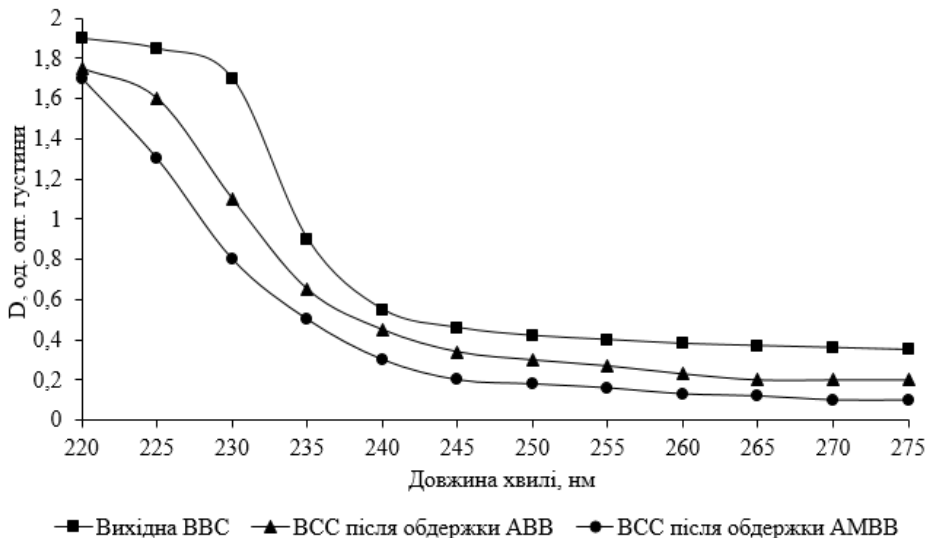


Рис. 4. Спектри оптичного поглинання ВСС на стадії підготування матеріалів до основного циклу очищення сортівки

Оскільки обов’язковою в технології горілок є стадія попередньої підготовки матеріалу, необхідно дослідити основні показники сорбційної та каталітичної активності матеріалів після їх промивки підготовленою водою до основного фільтрувального циклу (табл. 3). Результати досліджень (табл. 3) підтверджують, що матеріали є хімічно стійкими, оскільки показник лужності змінюється незначно — на 18%.

Таблиця 3. Основні показники сорбційної та каталітичної активності досліджуваних матеріалів після підготовки до основного фільтрувального циклу

Назва показника	Результат випробувань для матеріалу (n=3; P≥0,95)	
	АВВ	АМВВ
Адсорбційна активність за йодом, %	35±1	45±1,2
Адсорбційна активність за оцтовою кислотою, од.	38±5	45±5
Лужність водного настою, 0,1 см ³ розчину соляної кислоти с(НСl)=0,01 моль/дм ³	1,2±0,1	1,5±0,1

Від якості вуглецевого матеріалу та швидкості очищення сортівки через його шар залежить якість продукту та його дегустаційні властивості. Особливо звертають увагу на збільшення масової концентрації альдегідів у ВСС під час її очищення. Масова концентрація альдегідів залежить від вмісту кисню в сортівці та на поверхні активного вуглецевого матеріалу. Надлишок оцтової кислоти, що

утворюється на поверхні активного вуглецевого матеріалу, нейтралізується групами основного характеру, тобто групи основного характеру хемосорбують оцтову кислоту та утримують її [1; 3; 10]. Активний вуглецевий матеріал буде працювати до тих пір, поки групи повністю не нейтралізуються надлишковою кількістю оцтової кислоти. Тож чим більше груп основного характеру та вища активність, тим більший ресурс роботи активного вуглецевого матеріалу, однак підвищений вміст груп основного характеру призводить до додаткового збільшення масової концентрації альдегідів, яке можна усунути тільки шляхом збільшення швидкості очищення.

Нині лікєро-горілочані підприємства працюють не на повну потужність і можуть спостерігатись тривалі зупинки, тому є необхідним визначання хімічної стійкості досліджуваних зразків вуглецевого волокна за витримкою у ВСС (табл. 4, 5).

Таблиця 4. Фізико-хімічні показники ВСС при витримці з АВВ та АМВВ (n=3; P≥0,95)

Назва показника, одиниця вимірювання	Вимоги ДСТУ 4256 [12]	Результати випробувань		
		Вихідна ВСС	після витримки	
			АВВ	АМВВ
Міцність, %	39,8–40,2	39,95±0,1	39,95±0,1	39,95±0,1
Лужність — об'єм соляної кислоти c(HCl)= 0,1 моль/дм ³ , витрачений на титрування 100 см ³ горілки, см ³	не більше 3,5	0,3±0,03	0,3±0,03	0,3±0,03
Масова концентрація альдегідів у перерахунку на оцтовий альдегід у безводному спирті, мг/дм ³	не більше 4,0	1,7	3,0±0,15	2,5±0,15
Масова концентрація сивушного масла в перерахунку на суміші зоамілового та ізобутилового спиртів (1:1) у безводному спирті, мг/дм ³	не більше 3,0	0,80±0,15	0,70±0,15	0,60±0,15
Масова концентрація естерів у перерахунку на оцтової естер у безводному спирті, мг/дм ³	не більше 5	1,2±0,25	1,9±0,25	1,6±0,25
Об'ємна частка метилового спирту в перерахунку на безводний спирт, %	не більше 0,01	0,002±0,001	0,0015±0,001	0,0015±0,001

Встановлено, що фізико-хімічні показники задовольняють нормативні вимоги до горілок, хоча внаслідок каталітичної активності спостерігається збільшення, порівняно з вихідною сортівкою, масової концентрації:

- альдегідів в 1,8 раза для АВВ та 1,5 раза для АМВВ;
- естерів в 1,6 раза за АВВ та в 1,3 раза за АМВВ.

Таблиця 5. Результати мікрокомпонентного складу ВСС при витримці з АВВ та АМВВ

№ п/п	Назва показника, одиниця вимірювання	Значення показника					
		вихідна ВСС	після витримки				
			АВВ	АМВВ			
1.	Масова концентрація альдегідів, мг/дм ³ , у безводному спирті, у тому числі:	1,8±0,3	3,0±0,3	2,5±0,3			
	ацетальдегід				1,7±0,3	2,5±0,3	2,2±0,3
2.	Масова концентрація сивушного масла, у безводному спирті, мг/дм ³ , у тому числі:	0,90±0,4	0,70±0,4	0,60±0,4			
	н-пропанол				0,2±0,04	0,15±0,04	0,15±0,04
	ізобутанол				0,3±0,06	0,25±0,06	0,23±0,06
	н-бутанол				0,2±0,04	0,15±0,04	0,12±0,04
	ізоаміловий спирт				0,2±0,04	0,17±0,04	0,15±0,04
	н-аміловий спирт				менше 0,2	менше 0,2	менше 0,2
3.	Масова концентрація естерів, у безводному спирті, мг/дм ³ , у тому числі:	1,0±0,2	1,9±0,25	1,6±0,25			
	метилацетат				0,5±0,04	1,4±0,04	1,5±0,04
	етилацетат				менше 0,3	менше 0,3	менше 0,3
	ізобутилацетат				менше 0,5	менше 0,5	менше 0,5
	етилбутират				менше 0,5	менше 0,5	менше 0,5
	ізоамілацетат				менше 0,5	менше 0,5	менше 0,5
4.	Об'ємна частка метанолу, у перерахунку на безводний спирт, %	0,002±0,0005	0,0015±0,0005	0,0015±0,0005			

Результати мікрокомпонентного складу АВВ при витримці, порівняно з вихідною ВСС (табл. 5), свідчать, що масова концентрація:

- альдегідів збільшується в 1,6 раза для АВВ та в 1,4 раза для АМВВ;
- сивушного масла зменшується для АВВ в 1,28 раза, АМВВ в 1,5 раза;
- естерів збільшилася в 1,9 раза для АВВ і в 1,6 раза для АМВВ. Тож можна підсумувати, що менші зміни мікрокомпонентного складу спостерігаються після витримки ВСС з АМВВ.

Результати фізико-хімічних і газохроматографічних досліджень вказують на хімічну стійкість АВВ та АМВВ, що дасть змогу меншити кількість виправного й невивправного браку після зливу з колони після зупинок.

Висновки

Проведені теоретичні й експериментальні дослідження довели позитивний вплив активованого та модифікованого вуглецевого волокна під час очищення сортівок у виробництві горілок.

Порівняно з вихідною ВСС при використанні АМВВ зменшуються у 1,25 раза відносний об'єм води, підготовленої на відмивання від залишкових костей зольних речовин і пилу.

Під час витримки АМВВ та АВВ, внаслідок його мікропористості, у сортівці зменшується масова концентрація сивушного масла в 1,5 та в 1,3 раза відповідно, що позитивно відзначається на якості готової продукції.

Встановлено, що на початковому етапі промивки під час обдержки ВСС прозорість є вищою на 12% для АМВВ, при цьому відносний об'єм рідини не перевищує 5 об. ВСС/об. матеріалу, а показник прозорості становить 100% і є незмінним.

Література

1. Иванов С. В., Домарецкий В. А., Прибыльский В. Л. Инновационные технологии продуктов бродинния и виноробства: підруч. / за ред. С. В. Иванова. Київ: НУХТ, 2012. 487 с.
2. Мухин В. М., Соловьев С. Н., Поляков В. А., Шубина Н. А. Активные угли марки ВСК в производстве водок и их реактивация. *Ликероводочное производство и виноделие*. 2009. № 5. С. 15—17.
3. Бурачевский И. И., Зайнулин Р. А., Кунакова Р. В. Производство водок и ликероводочных изделий. Москва: ДеЛиПринт. 2009. 324 с.
4. Бурачевский И. И., Морозова С. С., Устинова Е. В. О перспективности применения углей «Nogit» для очистки водно-спиртовых растворов. *Ликероводочное производство и виноделие*. 2010. № 7—8. С. 30—32.
5. Поляков В. А., Абрамова И. М., Морозова С. С., Устинова Е. В., Мухин В. М., Гурьянов В. В., Воропаева Н. Л. Применение новых активных углей на основе растительного сырья в производстве высокосортных водок. *Пиво и напитки*. 2014. № 4. С. 8—11.
6. Поляков В. А., Абрамова И. М., Морозова С. С., Устинова Е. В. Перспективные активные угли в технологии водок. *Производство спирта и ликероводочных изделий*. 2015. № 2. С. 17—20.
7. Бурачевский И. И. Исследование возможности расширения спектра адсорбционных материалов при производстве водок. *Производство спирта и ликероводочных изделий*. 2011. № 2. С. 22—23.
8. Тарасова С. А., Кочуров А. Г. Серебряная фильтрация — ваш инструмент управления качеством. *Ликероводочное производство и виноделие*. 2008. № 1. С. 17—21.
9. Тарасов А. В. Применение установок «серебряной фильтрации» в технологии приготвления водок. *Индустрия напитков*. 2006. № 4. С. 10—13.
10. Кузьмин О. В. Водка: технология, качество, инновации. Донецк: ДонНУЕТ им. М. Туган-Барановского. 2011. 307 с.
11. Мухин В. М., Клущин В. Н. Производство и применение углеродных адсорбентов. М.: РХТУ им. Д. И. Менделеева. 2012. 308 с.
12. Плавник Г. М., Цуриева Т. П., Курляндская И. И., Глазунова Е. Д. Пористая, дисперсная и кристаллическая структура каталитической системы ацетат цинка-активный уголь. Рентгенографическое исследование. *Современное состояние и перспективы развития теории адсорбции*: IX Международная конференция по теоретическим вопросам адсорбции и адсорбционной хроматографии к 100-летию со дня рождения академика М. М. Дубинина. (Москва. 24—28 апр. 2001 г). Москва: ИФХ РАН. 2001. С. 125.
13. Бурачевский И. И., Морозова С. С., Устинова Е. В., Шубина Н. А., Терентьев М. А., Киселев А. В. Исследование возможности расширения спектра адсорбционных материалов при производстве водок. *Производство спирта и ликероводочных изделий*. 2011. № 2. С. 22—23.
14. Макеева А. Н., Шубина Н. А., Мухин В. М., Крайнова О. Л., Зубова И. Д. Новые марки активных углей для водочного производства. *Прогрессивные технологии и современное оборудование — важнейшие составляющие успеха экономического развития предприятий спиртовой и ликероводочной промышленности*: 4 Международная научно-практическая конференция, (Москва. 2003). Москва: Пищепромиздат, 2003. С. 152—157.
15. Манк В. В. Использование природных минералов для адсорбционной очистки водно-спиртовых растворов В. В. Манк, Л. Н. Мельник. *Производство спирта и ликероводочных изделий*. 2005. № 1. С. 27—29.
16. Долгунина А. В., Хабарова Е. В. Вариант технического переоборудования отделения очистки водно-спиртовой смеси в производстве водок. *Оборудование для микрофильтрации*. 2002. № 1. С. 50—54.

17. Поликарпова Н. П., Запороцкая И. В., Ермакова Т. А., Запороцков П. А. Фильтр на основе углеродных нанотрубок для очистки спиртосодержащих жидкостей. *Вестник ВолГУ*. 2012. № 6. С. 75—80.
18. Запороцкова И. В., Ермакова Т. А., Перевалова Е. В., Степанова А. Ю., Борознин С. В., Марутич А. В., Запороцкова Н. П. Исследование влияния углеродных нанотрубок на процесс очистки спиртосодержащих жидкостей. *Вестник Волгоградского государственного университета*. 2009. № 4. С. 42—51.
19. Дьякова Т. Ю., Исаев А. В., Макарова А. И., Ваганова Е. С., Давыдова О. А., Бузаева М. В., Климов Е. С. Фильтровальные материалы на основе многостенных углеродных нанотрубок для очистки гидкостей. *Вестник ЮУрГУ*. 2017. № 3. С. 5—11.
20. Елецкий А. В. Сорбционные свойства углеродных наноструктур. *Успехи физических наук*. 2004. № 11. С. 1191—1231.
21. Польшалина Г. В. Технохимический контроль спиртового и ликеро-водочного производств. Москва: Колос. 1999. 333 с.
22. ДСТУ 7508:2014. Вугілля активне для лікєро-горілочного виробництва. Метод визначення активності за адсорбцією оцтової кислоти. [Чинний від 2015-01]. Вид. офіц. Київ, 2013. 11 с.
23. ДСТУ 7417:2013 Вугілля активне для лікєро-горілочного виробництва. Метод визначення лужності водного настою. [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ, 2013. 10 с.
24. ДСТУ EN 12902:2004 Матеріали для очищення води, призначеної для споживання людиною. Матеріали неорганічні для підтримувального шару і фільтрувальні. Методи випробувань. [Чинний від 2006-01-04]. Вид. офіц. Київ, 2006. 34 с.
25. ДСТУ EN 12915-1:2004 Матеріали для очищення води, призначеної для споживання людиною. Гранульоване активоване вугілля. Частина 1. Чисте гранульоване активоване вугілля [Чинний від 2006-01-04]. Вид. офіц. Київ, 2006. 12 с.
26. ДСТУ 4165:2003 Горілки і горілки особливі. Правила приймання і методи аналізу. [Чинний від 2015-06-22]. Вид. офіц. Київ, 2016. 24 с.
27. ДСТУ 5068:2008 Горілки, горілки особливі, напої лікєро-горілочні. Визначення прозорості спектрофотометричним методом. [Чинний від 2008-09-15]. Вид. офіц. Київ, 2009. 7 с.
28. ДСТУ 4222:2003 Горілки, спирт етиловий та водно-спиртові розчини. Газо-хроматографічний метод визначення вмісту мікрокомпонентів. [Чинний від 2003-10-14]. Введ. офіц. Київ, 2004. 14 с.

УДК 664.669

RESEARCH OF CHANGES OF DRY MILK MIXTURES FOR BABY NUTRITION IN THE PROCESS OF THEIR STORAGE

K. Belinska

Kamianets-Podilskyi Ivan Ohiienko National University

N. Falendysh

National University of Food Technologies

Key words:

*Milk formulas
Baby food
Acid number
Peroxide value
Microbiological
indicators*

Article history:

Received 17.07.2020
Received in revised form
31.07.2020
Accepted 13.08.2020

Corresponding author:

K. Belinska
E-mail:
kristina0612@ukr.net

ABSTRACT

Dry mixture is widely used to feed infants who are breastfed. The market offers a variety of such products. The main raw material for baby food is cow milk.

Dry milk mixtures are products of long-term storage. Such products are multicomponent systems, so during their storage there is a large number of changes, both physicochemical and microbiological. As these products are intended for breastfeeding of newborns and infants, the most important indicators of quality are safety indicators.

Microbiological contamination and fat spoilage processes may occur during the shelf life of dried dairy products. Fat spoilage is associated with both chemical and biochemical fat oxidation.

Leading manufacturers of dry products for baby food warrant 12 months as period of storage. However, the studied products are made on the basis of mare and sheep milk. Such milk has different chemical composition, and therefore the processes that take place in it during storage may also differ from those observed during storage of cow milk. Therefore, it is considered to conduct research to determine the indicators that affect the quality of the product during storage.

The article presents research of determination of microbiological parameters, the value of acid and peroxide numbers. According to the results of the study, it was found that in the studied products the development of foreign microflora during the shelf life was within normal limits. And the processes of oxidation of triglycerides and accumulation of peroxides occurred similarly to similar processes in the control. A small difference in the samples is characterized by differences in the chemical composition of the fat of different types of milk. It has been found that milk mixtures based on mare and sheep milk can be stored for a certain period of time if stored in an airtight container.

DOI: 10.24263/2225-2924-2020-26-4-23

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІН СУХИХ МОЛОЧНИХ СУМІШЕЙ ДЛЯ ДИТЯЧОГО ХАРЧУВАННЯ В ПРОЦЕСІ ЇХ ЗБЕРІГАННЯ

К. О. Белінська

Кам'янець-Подільський національний університет ім. І. Огієнка

Н. О. Фалендиш

Національний університет харчових технологій

Для харчування дітей грудного віку, які перебувають на штучному вигодовуванні, широко використовують сухі молочні суміші. На ринку пропонується різноманіття таких продуктів. Основною сировиною для виготовлення продуктів для дитячого харчування є коров'яче молоко.

Сухі молочні суміші-продукти тривалого зберігання. Такі продукти є багатоконпонентними системами, тому при зберіганні відбувається велика кількість як фізико-хімічних, так і мікробіологічних змін. Оскільки ці продукти призначені для вигодовування немовлят і дітей грудного віку, найголовнішими показниками якості є показники їхньої безпечності.

Упродовж терміну зберігання сухих молочних продуктів можуть мати місце процеси мікробіологічного зараження та процеси псування жиру. Процеси псування жиру пов'язані як з хімічним окисненням жиру, так і з біохімічним.

Гарантійний термін зберігання сухих продуктів для дитячого харчування становить 12 місяців. Проте досліджувані продукти виготовлені на основі коров'ячого та овечого молока. Таке молоко має інший хімічний склад, а тому процеси, що відбуваються в ньому під час зберігання, також можуть відрізнятися від тих, що спостерігаються при зберіганні коров'ячого молока. Тож доцільно визначити показники, які впливають на якість продукту при зберіганні.

У статті представлено дослідження з визначення мікробіологічних показників, значення кислотного та перекисного чисел. За результатами дослідження встановлено, що в досліджуваних продуктах розвиток сторонньої мікрофлори впродовж терміну зберігання відбувається в межах норми. А процеси окиснення тригліцеридів та накопичення перекисів відбуваються як і аналогічні процеси в контролі. Невелика різниця в зразках характеризується відмінностями хімічного складу жиру різних видів молока. З'ясовано, що сухі молочні суміші на основі коров'ячого та овечого молока можуть зберігатися протягом визначеного терміну за умови зберігання в герметичній упаковці.

Ключові слова: *молочні суміші, дитяче харчування, кислотне число, перекисне число, мікробіологічні показники.*

Постановка проблеми. *Сухі молочні суміші для дитячого харчування є багатоконпонентними системами, тому при їх зберіганні відбуваються фізичні, хімічні та мікробіологічні зміни. Безумовно, головним критерієм оцінки*

якості сухих молочних сумішей є органолептичні показники, зміну яких обумовлено складними фізичними, хімічними, біохімічними, мікробіологічними процесами, що відбуваються при зберіганні. Однак потрібно з безлічі процесів, що відбуваються при зберіганні, вибрати один, головний, домінуючий, який і буде визначати гарантійний термін зберігання. Домінуючий фактор — головний, домінуючий процес, що відбувається під час зберігання продукції. Тому для встановлення терміну зберігання необхідно знати механізм дії головного домінуючого фактора і знаходити шляхи його керування.

Відповідно до Закону України «Про дитяче харчування» [1] в сухих молочних сумішах регламентується масова частка жиру. Крім того, встановлено оптимальне співвідношення жирів рослинного й тваринного походження, а також співвідношення поліненасичених жирних кислот.

Домінуючим фактором процесу зберігання сухих молочних сумішей є стан ліпідного комплексу. Стан ліпідного комплексу залежить від здатності жирів окислюватися. Жири окислюються до різного ступеня. Якщо глибина окислювання невелика, то змінюються органолептичні показники (смак, запах) — це харчове псування жиру. При глибокому окислюванні змінюються фізичні і хімічні властивості жирів.

Згірнення жирів супроводжується процесами руйнування компонентів харчових продуктів, які легко окислюються. Це вітаміни, особливо А і Є, деякі ароматичні речовини тощо. Якщо у виробі міститься жир і водорозчинні вітаміни, то останні інактивуються прогірклим жиром. Особливо це стосується вітамінів групи В і біотину (вітамін Н).

При зберіганні виробів, що містять значну кількість жиру, крім хімічного окислювання, може бути біохімічне окиснення, що здійснюється під дією ферментів ліпази і ліпооксидази [2].

Накопичення вільних жирних кислот у продуктах під час зберігання може відбуватися внаслідок перебігу декількох реакцій. Однією з них є гідроліз тригліцеридів. Показником, який характеризує кількість вільних жирних кислот, є кислотне число [3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сухі дитячі суміші є продуктами тривалого зберігання. Провідні виробники продуктів для дитячого харчування встановлюють термін їх зберігання протягом 12—18 міс. Проте для такого тривалого терміну зберігання необхідною є відповідна упаковка.

При зберіганні продуктів у герметичній упаковці можливий розвиток небажаної чи навіть шкідливої мікрофлори. При досягненні значень мікробіологічних показників, вищих за допустимий рівень, продукт стає непридатним до споживання.

Гарантійний термін зберігання, рекомендований провідними виробниками, стосується сухих молочних продуктів, виготовлених на основі коров'ячого молока. А відповідних досліджень зі встановлення терміну зберігання сухих молочних сумішей на основі кобилячого й овечого молока не виявлено.

Метою дослідження є встановлення терміну зберігання сухих молочних продуктів на основі кобилячого та овечого молока шляхом визначення зміни мікробіологічних показників, перекисного та кислотного чисел.

Викладення основних результатів дослідження. Для дослідження було взято нові сухі молочні суміші Ligans (розроблено на основі кобилячого молока) та Agnus (на основі овечого молока).

Сухі молочні суміші зберігалися в картонних пачках з внутрішнім пакетом із комбінованого полімерного матеріалу. Повітря з пакета видаляли і замінювали азотом, пакет герметично закривали шляхом спайки верхнього клапана.

Запаковані продукти зберігалися в герметичній тарі протягом року. Упродовж цього часу досліджувалися зміни мікробіологічних показників. У табл. 1 представлено зміни мікробіологічних показників у суміші Ligans в процесі зберігання. Спостерігається поступовий приріст мікроорганізмів протягом усього періоду зберігання суміші. Через рік зберігання кількість *B. Cereu* та МАФАМ збільшилася втричі, а кількість мікроскопічних грибів зросла більш як у 4 рази.

За рік зберігання суміші Agnus кількість мікроскопічних грибів зросла у 5,5 рази, МАФАМ — у 1,7 рази, а кількість *B. Cereu* збільшилась у 2,5 рази.

Дослідження мікробіологічних показників дитячих сухих молочних продуктів показало, що бактерії групи кишкової палички, *E. coli*, патогенні мікроорганізми та стафілокок не були виявлені в жодному продукті. Вміст МАФАМ, мікроскопічних грибів, дріжджів та *B. Cereu* знаходиться в допустимих межах. Отже, отримані результати свідчать про мікробіологічну безпечність і придатність цих продуктів для вигодовування дітей грудного віку протягом 12 місяців зберігання.

Таблиця 1. Зміна мікробіологічних показників продуктів для дитячого харчування протягом зберігання

Показник	Термін зберігання				
	1 доба	1 міс	3 міс	6 міс	12 міс
Суміш Ligans					
Мезофільні аеробні і факультативно-анаеробні мікроорганізми, мг/кг×1000	0,3	0,32	0,4	0,5	0,8
<i>B. Cereu</i> , мг/кг	12	14	21	28	36
Мікроскопічні гриби, мг/кг	7	10	17	22	29
Суміш Agnus					
Мезофільні аеробні і факультативно-анаеробні мікроорганізми, мг/кг×1000	0,4	0,46	0,5	0,57	0,68
<i>B. Cereu</i> , мг/кг	8	9	16	21	27
Мікроскопічні гриби, мг/кг	4	7	12	16	22

Також досліджували зміну кислотного числа в продуктах для дитячого харчування в процесі зберігання. За контроль було взято суху молочну суміш на основі коров'ячого молока «Малютка». Результати досліджень наведено на рис. 1.

Результати дослідження вказують на те, що більш інтенсивно гідролітичні процеси розпаду тригліцеридів відбувалися в суміші Agnus, яка відрізняється

дещо більшою масовою часткою жиру. В усіх зразках динаміка процесів окислення була ідентична. Значення кислотного числа в сумішах зростало до кінця терміну зберігання продуктів і збільшилось у 1,5...1,6 раза.

Автоокислення ацилгліцеринів і вільних жирних кислот відбувається через утворення вільних радикалів [4].

Зміну перекисного числа в процесі зберігання в сухих молочних сумішах представлено на рис. 2. Перші 2 тижні спостерігається повільне накопичення перекисів, при цьому відбувається зародження і часткове продовження ланцюгів. Крутий підйом на графіку (протягом трьох місяців) пов'язується з розгалуженням ланцюгів окислення, що призводить до прискорення процесу утворення нових радикалів, а потім і перекисів та відповідає вираженому характеру окислення жирних кислот і ацилгліцеринів. [5]

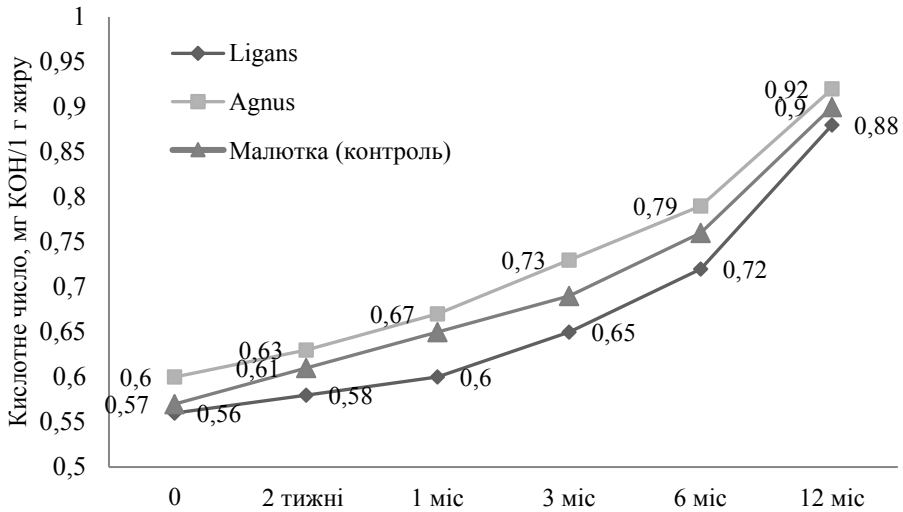


Рис. 1. Зміна кислотного числа в сухих молочних сумішах у процесі зберігання

Після 3 місяців зберігання відбувається зменшення швидкості приросту перекисів, яке зумовлюється переважанням процесу їх переходу в більш стабільні продукти окислення над процесом утворення і відповідає більш глибокій стадії окислення [6].

За 12 місяців зберігання кількість перекисів зростає на 70% у суміші Ligans, на 55% — у суміші Agnus і на 64% — у контролі. Така інтенсивність накопичення перекисів у суміші Ligans викликана значною кількістю в складі ненасичених і поліненасичених жирних кислот, які першочергово здатні до окислення. [5] Суміш Agnus містить на 28% менше ненасичених і поліненасичених жирних кислот порівняно із сумішшю «Малютка», тому й інтенсивність накопичення перекисів нижча. Проте перекисне число в кінці терміну зберігання у суміші Ligans на 39% менше, а в суміші Agnus на 10% більше порівняно з контролем. Це явище пояснюється більшою кількістю вітаміну Е в суміші Ligans, тоді як у суміші «Малютка» вітаміну Е втричі менше. Вітамін Е, як і всі фенольні сполуки, гальмує процес окислення жиру шляхом взаємодії з вільними радикалами, що призводить до заміни високоактивного радикалу на менш активний.

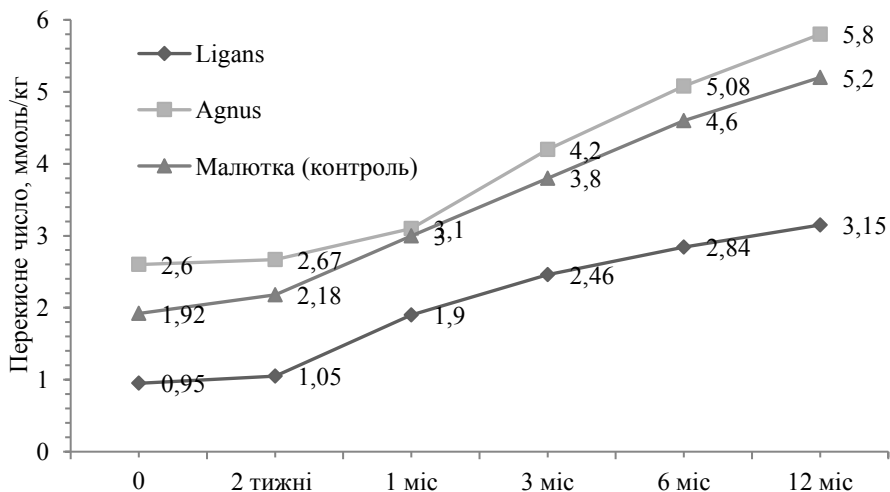


Рис. 2. Зміна перекисного числа в сухих молочних сумішах у процесі зберігання

Висновки

Проведені дослідження мікробіологічних показників сухих молочних продуктів для дитячого харчування вказують на те, що ці продукти є безпечними для дитячого організму впродовж заявленого терміну зберігання, оскільки виявлені мікроорганізми знаходяться на допустимому рівні, а небезпечні бактерії та мікроорганізми не виявлено.

Дослідження з визначення кислотного та перекисного чисел показали, що процеси розпаду тригліцеридів та накопичення перекисів у досліджуваних сумішах дещо різнилися, проте різниця із контролем була невелика й допустима.

Отже, досліджувані продукти можуть зберігатися протягом 12 місяців за умови герметичного пакування.

Література

1. Наказ «Про затвердження Гігієнічних вимог до продуктів дитячого харчування, параметрів безпечності та окремих показників їх якості» від 6 серпня 2013 р. № 696. Верховна Рада України. Офіційний веб-портал. URL: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z1380-13/page>.
2. Кохан О. О. Дорохович А. М. інноваційні технології кондитерських виробів подовженого терміну зберігання. *Ресурсо- та енергоощадні технології виробництва і пакування харчової продукції — основні засади її конкурентоздатності: матеріали III Міжнародної спеціалізованої науково-практичної конференції*, 9 вересня 2014 р. К., 2014. С. 41—47.
3. Степанова Е. Н., Рабина О. А., Морозов С. В. Динамика показателей качества и безопасности новых видов растительный масложировых продуктов при хранении. *Техника и технология пищевых производств*. 2011. № 3. С. 22—26.
4. Шатнюк Л. Н., Воробьева И. С., Воробьева В. М. и др. Изменение липидного комплекса обогащенной пшеничной муки в процессе хранения. *Хлебопечение России*. 2010. № 2. С. 29—31.
5. Cheng H., Zhu R., Soerensen J., Erishsen H., Petersen M., H. Skibsted L. High temperature storage of infant formula milk powder for prediction of storage stability at ambient conditions. *International Dairy Journal*. 2017. № 73. P. 166—174. URL: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2017.05.007>.
6. Изменение титруемой кислотности и кислотного числа жира муки / Все о зерне. Технологии хранения и переработки. URL: <http://girls4girls.ru/hranenie-muki/2790-izmenenie-titruemoy-kislotnosti-i-kislotnogo-chisla-zhira-muki.html> — 15.05.2015.

METHOD OF QUANTITATIVE DETERMINATION OF SUCCINIC ACID IN AMBER EXTRACTS

V. Chorny, T. Mysiura, N. Popova, V. Zavalov

National University of Food Technologies

Key words:

Succinic acid
Amber
Succinite
Extract
Titrimetry

Article history:

Received 05.08.2020

Received in revised form

19.08.2020

Accepted 02.09.2020

Corresponding author:

T. Mysiura

E-mail:

tarasmisyura@gmail.com

ABSTRACT

Succinic acid in solutions is currently quantified by enzymatic, capillary zone electrophoresis and chromatographic methods; however, these methods have a long analysis time, high complexity and low availability. A large amount of succinic acid of natural origin is found in succinite (amber of Eastern European origin), from such raw materials extracts with a high content of this acid can be obtained.

The paper presents a new method developed by the authors to determine the content of succinic acid in amber extracts based on the direct titration method of the solution with sodium hydroxide in the presence of phenolphthalein indicator. Firstly, the effect of different concentrations of succinic acid in the prepared samples on the consumption of sodium hydroxide was evaluated and the effect of a proportion of ethyl alcohol in aqueous-alcoholic solutions on the consumption of alkali when determining the content of succinic acid in the solution was determined. With justification of the feasibility of using ethyl alcohol as an effective low-polar solvent, there was determined the effect of the proportion of ethyl alcohol in aqueous-alcoholic solutions on the consumption of alkali when determining the content of succinic acid in the solution. Based on the results of the research, a calibration graph was constructed, the data of which can be used to determine succinic acid. Two equations were obtained to calculate the concentration of succinic acid in the solution based on the consumption of sodium hydroxide on a neutralization process of the solution and a proportion of ethyl alcohol in a test sample. The values obtained by the calculated method according to the equation of double approximation have a permissible error of 1.5%, and the equation of composite function has an error of 3.5%, but it is easy to use.

The developed method and the obtained equations provide an opportunity to quickly and easily analyze aqueous and aqueous-alcoholic solutions, which contain only succinic acid in the list of acids, in particular in amber extracts. The proposed method provides appropriate conveniences during the technological control of the production process of amber extraction processing.

СПОСІБ КІЛЬКІСНОГО ВИЗНАЧЕННЯ БУРШТИНОВОЇ КИСЛОТИ В ЕКСТРАКТАХ БУРШТИНУ

В. М. Чорний, Т. Г. Мисюра, Н. В. Попова, В. Л. Зав'ялов

Національний університет харчових технологій

Бурштинова кислота в розчинах кількісно визначається електрофорезом капілярної зони ферментативним і хроматографічними методами, однак ці методи мають тривалий час аналізу, високу складність і низьку доступність. Велика кількість бурштинової кислоти природного походження знаходиться в сукцинаті (бурштині східноєвропейського походження), саме з такої сировини можна отримувати екстракти із високим вмістом цієї кислоти.

У статті представлено розроблену авторами нову методiku визначення вмісту бурштинової кислоти в екстрактах бурштинину на основі методу прямого титрування гідроксидом натрію розчину за наявності фенолфталеїнового індикатора. Спочатку оцінювався вплив різної концентрації бурштинової кислоти в підготовлених пробах на витрати гідроксиду натрію. З обґрунтуванням доцільності використання етилового спирту як ефективного малополярного розчинника описано вплив частки етилового спирту у водно-спиртових розчинах на витрату лугу під час визначення вмісту бурштинової кислоти у розчині. За результатами досліджень побудовано калібрувальний графік, дані якого можна використовувати для визначення кількості бурштинової кислоти. Отримано два рівняння для розрахунку концентрації бурштинової кислоти в розчині з урахуванням витрат гідроксиду натрію на процес нейтралізації розчину та частки етилового спирту в досліджуваному зразку. Значення, отримані розрахунковим способом за рівнянням подвійної апроксимації, мають допустиму похибку в 1,5%, а рівняння складеної функції — 3,5%, але є простим у використанні.

Розроблений метод та отримані рівняння надають можливість оперативно й доступно аналізувати водні та водно-спиртові розчину, що мають у своєму складі серед переліку кислот лише бурштинову кислоту, зокрема в екстрактах бурштинину. Запропонований метод доцільно використовувати під час технічного контролю виробничого процесу екстракційної переробки бурштинину.

Ключові слова: бурштинова кислота, бурштин, сукцинат, екстракт, титриметрія.

Постановка проблеми. Масштаби сучасного харчового виробництва на основі екстрактів вимагають розширення спектра сировини харчового призначення для її переробки. Перспективною сировиною для вирішення таких завдань може бути скам'яніла смола хвойних дерев. Відомим методом переробки такої сировини є її хімічний піроліз [1], продукти якого непридатні для широкого застосування в харчовій промисловості. З огляду на це доцільно застосовувати екстракційні технології для вилучення цільових компонентів із скам'янілої смоли.

Цільовими компонентами бурштину насамперед є бурштинова кислота й ефірна олія, що надає характерного запаху як каменю, так і його екстрактам.

Мета дослідження: розв'язання проблеми оперативного кількісного визначення бурштинової кислоти доступним методом.

Викладення основних результатів дослідження. Необхідність оперативного кількісного визначення бурштинової кислоти доступним методом викликана появою та розвитком підприємств, що використовують для виробництва своєї продукції продукти переробки бурштину. Тому для ведення технохімічного контролю процесу виробництва необхідно мати доступні та оперативні методи визначення. Оскільки органічні кислоти визначають методом хроматографії [2; 3], який потребує великих затрат часу і ресурсів на пробопідготовку, високої кваліфікації персоналу і високоякісного обладнання, це ускладнює доступність такого методу.

Бурштин (сукцинит) — це викапна скам'яніла смола древніх вимерлих хвойних дерев, компонентний склад якого обмежений бурштиновою кислотою, ефірною олією та кількома розчинними смолами і кожен з них має цінне значення та володіє функціональними властивостями.

Вміст бурштинової кислоти в бурштині коливається від 3 до 8%. Приблизно така ж кількість її (5,62—7,11%) міститься в бурштині околиць Києва — так званому київському сукциниті [4].

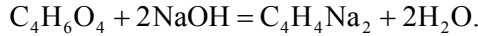
Оскільки бурштин у своєму складі не містить інших кислот, окрім бурштинової, це дає змогу проводити визначення її кількості в екстракті бурштину. Для цього пропонується застосовувати метод прямого титрування гідроксидом натрію з індикатором фенолфталеїну до реакції нейтралізації розчину.

Щоб розрахувати значення вмісту бурштинової кислоти в розчині, необхідно розробити відповідне рівняння, яке можна отримати, дослідивши залежності реакції нейтралізації кислоти лугом. Для цього використовувався метод калібрувального графіка.

Одержання екстрактів з бурштину досягають різними способами [5—7]. Однак ефективне вилучення відбувається саме малополярними розчинниками, які дають змогу отримати повноцінний комплекс з цільових компонентів бурштину [8]. Прийнятним для харчової, фармацевтичної, косметичної галузі малополярним розчинником є етанол, що забезпечує вимоги щодо його селективності, індиферентності, безпечності, доступності, тому ми розглядаємо спосіб визначення бурштинової кислоти саме у водно-спиртових екстрактах.

Для побудови калібрувального графіка використовували точні наважки кристалів синтетичної бурштинової кислоти за такою методикою: на аналітичних вагах зважували попередньо визначену кількість бурштинової кислоти, перенесли наважку в колбу місткістю 250 мл, туди доливали 50 мл дистильованої води або водно-спиртової суміші відповідної концентрації та перемішували до повного розчинення кристалів кислоти. Додавали 2 краплі 1% спиртового розчину фенолфталеїну і титрували розчином натрію гідроксиду (0,1 моль/л) до появи лілово-фіолетового забарвлення.

Взаємодія бурштинової кислоти з гідроксидом натрію утворює сукцинат натрію та воду:



Також проведено визначення кількості гідроксиду натрію, витраченого для нейтралізації чітко відомої концентрації бурштинової кислоти у воді, водно-спиртовій суміші з часткою спирту 50% об. та етанолі 96% об. Калібрувальний графік будували за п'ятьма точками, що надає можливість достатньо точно визначити досліджувану залежність (рис. 1). Ця залежність є лінійною та різниться в разі визначення витрат у розчинах, що відрізняються вмістом етилового спирту.

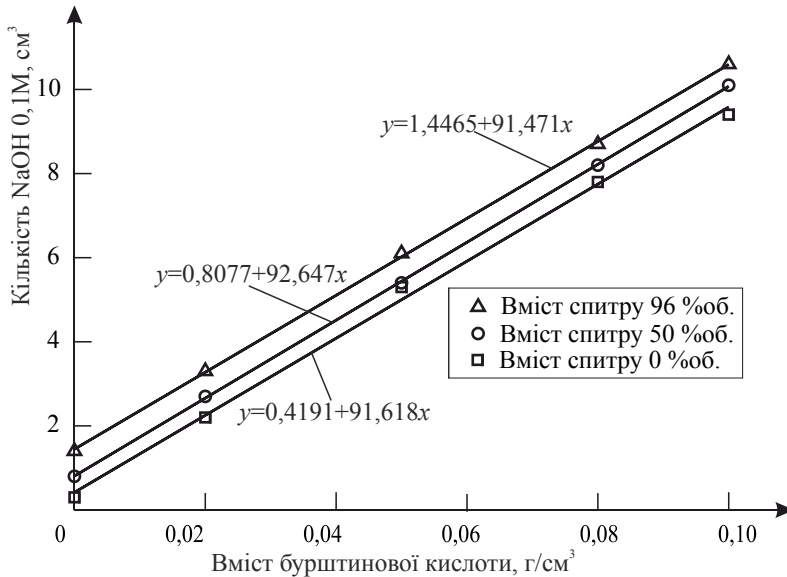


Рис. 1. Калібрувальний графік для визначення вмісту бурштинової кислоти в екстрактах

Калібрувальним графіком можна користуватися для визначення вмісту бурштинової кислоти, провівши перпендикулярно координаті лінію від значення кількості витраченого NaOH на реакцію нейтралізації до перетину з лінією, яка відповідає тому чи іншому досліджуваному розчину із відповідним вмістом етилового спирту, та від тієї точки перпендикулярно до координати вмісту бурштинової кислоти.

Для виведення залежності кількості гідроксиду натрію, витраченого для нейтралізації чітко відомої концентрації бурштинової кислоти, від концентрації бурштинової кислоти та вмісту етанолу в екстракті використовуємо узагальнене рівняння:

$$y = ax + b \tag{1}$$

і запишемо такі рівняння для:

води:

$$y = 0,4191 + 91,618x; \tag{2}$$

водно-спиртової суміші з часткою спирту 50% об.:

$$y = 0,8077 + 92,647x; \quad (3)$$

етанолу 96% об.:

$$y = 1,4465 + 91,471x. \quad (4)$$

Середня відносна похибка апроксимації не перевищує 3%.

Знайдемо залежність коефіцієнтів a і b узагальненого рівняння (1) від вмісту спирту. Для цього побудовано рис. 2 і 3.

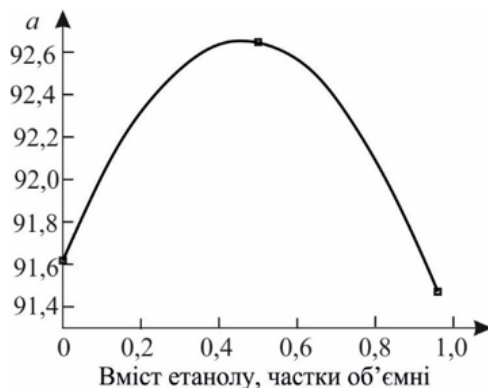


Рис. 2. Залежність коефіцієнта a узагальненого рівняння від вмісту спирту

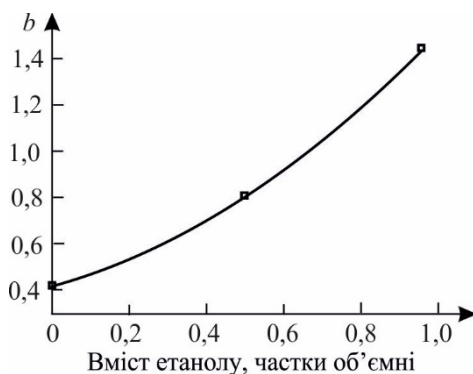


Рис. 3. Залежність коефіцієнта b узагальненого рівняння від вмісту спирту

Після апроксимації отримаємо рівняння:

$$a = 91,618 + 4,4614C - 4,8068C^2; \quad (4)$$

$$b = 0,4149 + 0,4541C + 0,6306C^2, \quad (5)$$

де C — вміст етанолу в екстракті, частки об'ємні.

Підставивши рівняння (4) і (5) в рівняння (1), отримаємо

$$y = (91,618 + 4,4614C - 4,8068C^2)x + 0,4149 + 0,4541C + 0,6306C^2, \quad (5)$$

де C — вміст етанолу в екстракті, частки об'ємні; x — концентрація бурштинової кислоти, %.

Залежність (5) у графічному вигляді зображена на рис. 4.

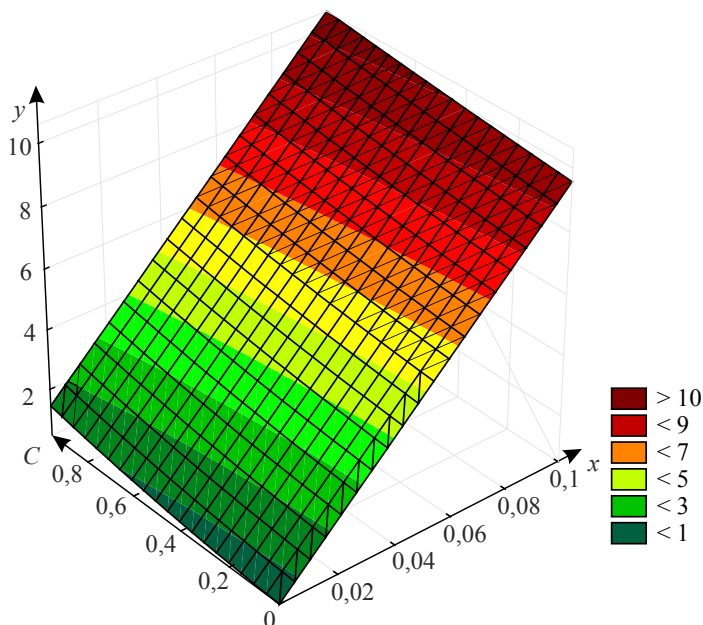


Рис. 4. Залежність кількості гідроксиду натрію, витраченого для нейтралізації чітко відомої концентрації бурштинової кислоти, від концентрації бурштинової кислоти та вмісту етанолу в екстракті

Розв'яжемо рівняння (5) відносно x :

$$x = \frac{y - (0,4149 + 0,4541C + 0,6306C^2)}{91,618 + 4,4614C - 4,8068C^2}. \quad (6)$$

Зробимо заміну змінних і отримаємо рівняння для розрахунку вмісту бурштинової кислоти S , % залежно від кількості гідроксиду натрію V , см^3 , витраченого для нейтралізації бурштинової кислоти та вмісту етанолу C , частки об'ємні, в екстракті:

$$S = \frac{V - (0,4149 + 0,4541C + 0,6306C^2)}{91,618 + 4,4614C - 4,8068C^2}. \quad (7)$$

Відносна похибка результатів, отриманих за поданою формулою, не перевищує 1,5%.

З метою спрощення формули та її доступності розглянемо альтернативний метод виведення залежності.

Щоб отримати можливість створити рівняння, за яким можна буде вираховувати концентрацію бурштинової кислоти, виходячи з кількості витраченого лугу, необхідно рис. 1 перетворити, змінивши координати між собою. Після перетворення отримаємо графік (рис. 5), в якому вказані рівняння лінійних залежностей для відповідних досліджуваних розчинів.

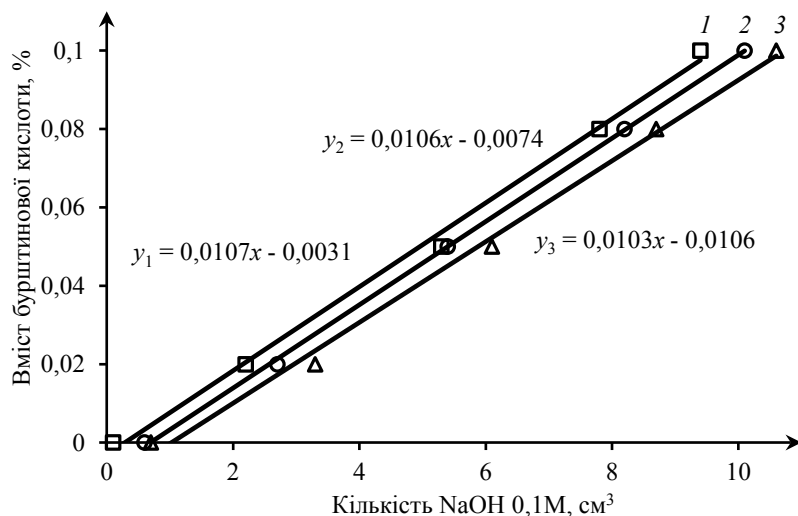


Рис. 5. Залежність вмісту бурштинової кислоти від кількості витраченого лугу: лінія 1 — вода; лінія 2 — водно-спиртова суміш 50% об.; лінія 3 — етанол 96% об.

Для встановлення впливу вмісту етилового спирту в розчині на показники витрат гідроксиду натрію проведено серію титрувань розчинів із попередньо визначеною часткою спирту в них. При цьому концентрація бурштинової кислоти в розчинах становила 0,1%. Тож за різницею об'єму лугу ΔNaOH , витраченого на нейтралізацію розчину із встановленим значенням вмісту спирту в ньому та контрольного зразка без спирту, змогли отримати результат, який виражається лінійною залежністю (рис. 6). При зростанні частки етилового спирту в розчині на його нейтралізацію витрачається більше лугу, оскільки спирт має кислотний характер. Цей результат дасть змогу враховувати міцність досліджуваного розчину та ввести відповідний поправочний коефіцієнт у загальну формулу визначення вмісту бурштинової кислоти.

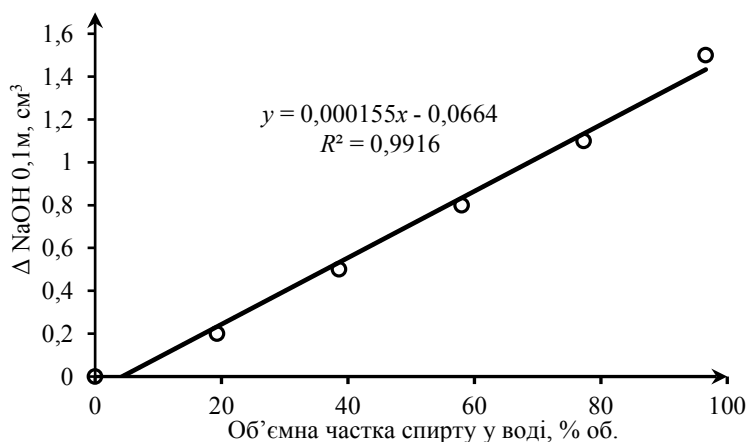


Рис. 6. Залежність витрат лугу на реакцію нейтралізації від об'ємної частки спирту у водно-спиртовому розчині

Отримані дві лінійні залежності витрат лугу на нейтралізацію спиртової частки розчину та витрат лугу на нейтралізацію бурштинової кислоти можна поєднати в одну комплексну функцію, яка й дасть змогу визначати концентрацію бурштинової кислоти в розчині з різною часткою етанолу.

Нехтуючи вільними членами двох рівнянь, які не внесуть значної похибки, можемо записати спрощену складену функцію, яка буде складатися із залежності вмісту бурштинової кислоти від кількості витраченого лугу на реакцію нейтралізації $0,0107N$ та залежності витрат лугу на нейтралізацію об'ємної частки етанолу в розчині $0,000155A$. При цьому друга частина функції буде відніматися від першої, оскільки збільшення частки спирту в розчині призводить до більших витрат лугу. Тож потрібно вираховувати ці витрати лугу, не пов'язані з самою кислотою. Вводячи до рівняння змінні у вигляді загального об'єму досліджуваного розчину й об'єму аліквотної частини екстракту, можна вираховувати поточну концентрацію бурштинової кислоти в екстракті у разі розведення дослідної проби розчину.

Складена функція двох залежностей матиме такий вигляд:

$$S = \frac{(0,0107V - 0,000155C) \cdot T}{A}, \quad (8)$$

де S — вміст бурштинової кислоти в екстракті, %; V — об'єм витраченого лугу, см³; C — об'ємна частка спирту в розчині, % об., T — загальний об'єм досліджуваного розчину, см³; A — аліквотна частина екстракту, см³.

Результати, отримані за формулою (8), мають середню відносну похибку до 3,5%.

У результаті отримали ще одне рівняння, за яким можна розрахувати вміст бурштинової кислоти в екстракті залежно від кількості гідроксиду натрію й вмісту етанолу.

Висновки

Валідацію результатів необхідно провести за допомогою порівняння дослідних значень і значень, отриманих за традиційними методами. Представлений спосіб кількісного визначення бурштинової кислоти в екстрактах бурштину є експрес-методом, що відрізняється своєю простотою та доступністю. Спосіб може бути застосований під час технохімічного контролю виробництва екстрактів з бурштину. Результати можна використати для дослідження вмісту бурштинової кислоти у фармацевтичних препаратах, медичних засобах, сільськогосподарських добривах та інших продуктах промисловості, що у своєму складі кислот мають лише бурштинову кислоту. За потреби високої точності результату і можливості використання для розрахунків комп'ютерної техніки пропонується застосування рівняння (7). Для експрес-розрахунку можна використовувати рівняння (8).

Література

1. Савкевич С. С. Янтарь. Ленинград: Недра, 1970. 192 с.
2. М. А. Богдасаров и др. Янтарь и янтареподобные ископаемые смолы евразии. Стаття 2. Пиролитическая газовая хроматография, хромато-масс-спектрометрия, аминокислотный анализ, электронная и атомно-силовая микроскопия. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2008. № 5. С. 27—31.

3. Park J. et al. Development of a quantitative method for organic acid in wine and beer using high performance liquid chromatography. *Food Sci Biotechnol.* 2017. № 26. P. 349—355.
4. Сребродольский Б. И. Янтарь Украины: Наукова думка, 1980. 123 с.
5. V. Zavialov et al. Regularities of solid-phase continuous vibration extraction and prospects for its industrial use. *Advances in Design, Simulation and Manufacturing II. DSMIE-2019. LNME.* 2020. P. 920—930.
6. О. Л. Міронов та ін. Комплекс біологічно-активних сполук бурштину: спосіб отримання, властивості та застосування. *Сучасні аспекти збереження здоров'я людини: зб. праць.* 2017. С. 247—251.
7. Горілка «Бурштинівка»: пат. 108098 Україна. № u201604903; заявл. 04.05.2016, Бюл. № 12. 5 с.
8. Чорний В. М., Мисюра Т. Г., Попова Н. В. Обґрунтування вибору розчинника при екстрагуванні скам'янілої смоли. *Наукові здобутки молоді — вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: матеріали конф.* 2020. Ч. 2. С. 152.

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 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. Автор надає право редакційній колегії на рецензування та відхилення поданих для опублікування матеріалів. В одному номері може бути видана 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 вичитаних роздруків 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.
4. Анотація англійською та українською мовами (не менше 1800 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 основних результатів дослідження;
 - 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.

8. Таблиці (у Word або Excel) можна подавати як у тексті, так і в окремих файлах (на окремих сторінках). Кожна таблиця повинна мати тематичний заголовок, набраний напівжирним шрифтом, і порядковий номер (без знака №), якщо таблиць кілька. Слово «Таблиця» і номер друкуються курсивом, заголовок — напівжирним шрифтом.

9. Ілюстрації (креслення, рисунки, схеми, діаграми) мають бути розміщені в тексті. **Обов'язковою вимогою** є надсилання оригінальних файлів рисунків, створених у програмі-редакторі Corel Draw X6.

Вимоги до оформлення рисунків: вісь координат — 0,2 мм, без сітки, сам рисунок (наприклад, крива) — 0,35 мм, текст в рисунку — Times New Roman 9,5, ширина рисунка — до 13 см. Всі рисунки мають бути чорно-білими. Підписи до рисунків набираються безпосередньо під рисунками прямим напівжирним шрифтом. Знімок екрана (скріншот) виконується на світлому фоні.

Фотографії мають бути чіткими та контрастними (формати TIF, JPG з роздільною здатністю 300 dpi), розмірами 6×9. Фотографії друкуються у разі крайньої потреби. Авторам краще завантажити фотографії на хмарний сервіс і у списку літератури дати на них посилання.

10. Математичні формули повинні бути роздруковані з правильним виділенням верхніх і нижніх індексів. Нумерація формул здійснюється арабськими цифрами у круглих дужках біля правого поля сторінки. Індeksi від скорочених українських слів друкуються прямим шрифтом малими літерами. В індексах, що складаються з двох скорочених слів, після першого скороченого слова ставиться крапка, після другого — крапка не ставиться. Цифри в індексах також друкуються прямим шрифтом. Індeksi, позначені латинськими літерами, друкуються курсивом. У формулах літери латинського алфавіту набираються курсивом, грецького й українського — прямим шрифтом.

Хімічні формули набираються прямим шрифтом. Математичні символи, що входять до складу хімічних формул, — курсивом.

Формули вставляються безпосередньо в текст. Прості формули набираються з клавіатури, а складні — за допомогою редактора формул Microsoft Equation 3.0 object або Math Type 5,6. Інші версії редакторів формул є неприйнятними. Символи вставляються тільки через таблицю символів. Скорочення позначень одиниць фізичних величин мають відповідати Міжнародній системі одиниць (SI).

11. Відомості про авторів статті повинні бути наведені за єдиним зразком у вказаному порядку: прізвище (прописними літерами), ім'я та ім'я по батькові (повністю); наукове звання; посада чи професія, місце роботи; телефон, E-mail.

12. Дата надходження статті до редакції (після тексту надрукованого матеріалу).

Використання автоматичного перекладу наукового тексту (статті, анотації, ключових слів) **не допускається**. Переклад має бути належної якості.

Відсутність будь-якого з пунктів переліку, зазначеного вище, рецензії, невідповідність вимогам до оформлення, наявність орфографічних, граматичних, стилістичних помилок, автоматичний переклад елементів матеріалу є підставою **для відмови** в прийнятті статті до друку.

Автор несе відповідальність за додержання вимог чинного законодавства при підготовці матеріалів, у тому числі норм авторського права і достовірність наведених фактичних даних (цитат, посилань, імен, назв тощо).

Адреса редакції:

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

Контактні телефони: міський — (044) 287-92-95, внутрішній — 92-95.

E-mail: npnuht@ukr.net