



2017

НАУКОВІ ПРАЦІ

НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Том 23 № 1

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

КИЇВ ♦ НУХТ ♦ 2017

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

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

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

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

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

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

Editorial office address:

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

Recommended for publication by the Academic Council of the National University of Food Technologies. Minutes of meeting # 7 of December, 2016

© NUFT, 2017

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

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

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

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

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

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

Адреса редакції:

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

Рекомендовано вченою радою Національного університету харчових технологій.
Протокол № 7 від 27 грудня 2016 року

© НУХТ, 2017

Редакційна колегія

Склад редакційної колегії журналу

«Наукові праці Національного університету харчових технологій»

Головний редактор Editor-in-Chief	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Анатолій Українець Anatoliy Ukrainets	
Заступник головного редактора Deputy chief editor	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олександр Шевченко Olexander Shevchenko	
Відповідальний секретар Accountable secretary	канд. техн. наук, доц., Україна Ph. D. As., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Юрій Пенчук Yuriy Penchuk	

Члени редакційної колегії:

Анатолій Зайнчковський Anatoly Zainchkovskiy	д-р екон. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Анатолій Король Anatoly Korol	д-р фіз.-мат. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Анатолій Ладанюк Anatoly Ladanyuk	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Анатолій Сайганов Anatoly Sayganov	д-р екон. наук, проф., Білорусь Ph. D. Hab., Prof., Institute of System Research in Agroindustrial Complex of NAS of Belarus, Belarus
Анжей Ковальський Anzhey Kowalski	д-р екон. наук, проф., Польща Ph. D. Hab., Prof., Institute of Agricultural and Food Economics, Poland
Аннетта Зелінська Anetta Zielinska	д-р екон. наук, проф., Польща Ph. D. Hab., Prof., Wroclaw University of Economics, Poland
Брайан Мак Кенна Brian McKenna	д-р техн. наук, проф., Ірландія Ph. D. Hab., Prof., University College Dublin, Ireland
Віктор Доценко Victor Dotsenko	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Віра Оболкіна Vera Obolkina	д-р техн. наук, Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Віктор Ємцев Viktor Yemtsev	д-р екон. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Володимир Зав'ялов Vladimir Zavialov	д-р техн. наук, Україна Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine
Галина Чередниченко Galina Cherednichenko	канд. педагог. наук, доц., Україна Ph. D. As., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine

Герхард Шльонінг Gerhard Schleining	д-р техн. наук, Австрія Ph. D. Hab., Prof., University of Natural Resources, Austria
Дайва Лескаускайте Daiva Leskauskaite	д-р техн. наук, проф., Литва Ph. D. Hab., Prof., Kaunas University of Technology, Lithuania
Єлизавета Костенко Jelyzaveta Kostenko	д-р хім. наук, Україна Ph. D. Hab., National University of Food Technologies, Ukraine
Єлизавета Смірнова Jelyzaveta Smirnova	канд. філол. наук, доц., Україна Ph. D. As., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Іван Малежик Ivan Malezhyk	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Кристина Сильва Cristina L.M.Silva	д-р техн. наук, проф., Португалія Ph. D. Hab., Prof., University de Catolica, Portuguesa
Лариса Арсеньєва Larisa Arsenyeva	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Леонід Дегтярьов Leonid Dehtyaryov	д-р хім. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Микола Прядко Mykola Pryiadko	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Михайло Мартиненко Michail Martynenko	д-р фіз.-мат. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Наталія Гусятинська Natalia Gusyatynska	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олександр Бараненко Oleksandr Baranenko	д-р техн. наук, проф., Росія Ph. D. Hab., Prof., National Research University of Information Technologies, mechanics and optics, Russia
Олександр Бутнік-Сіверський Oleksandr Butnik-Siverskyi	д-р екон. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олександр Карпов Oleksandr Karpov	д-р біол. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олександр Перепелиця Oleksandr Perepelitsa	д-р хім. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Олег Полумбрик Oleh Polumbryk	д-р хім. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Паола Піттія Paola Pittia	д-р техн. наук, проф., Італія Ph. D. Hab., Prof., University of Teramo, Italy
Петро Шиян Petro Shyian	д-р техн. наук, проф., Україна Ph. D. Hab., Prof., National University of Food Technologies, Ukraine
Саверіо Манніно Saverio Mannino	д-р хім. наук, проф., Італія Ph. D. Hab., Prof., University of Milan, Italy
Хууб Лелієвельд Huub Lelieveld	Нідерланди Ph. D. Hab., Prof., President of the Global Harmonization Initiatives, Netherlands

ЗМІСТ

Автоматизація та інформаційні технології

Поворозник Н.І., Бобрівник К.С., Грибков С.В. 7
Проектування бази даних модуля студента
у системі підтримки вивчення дисциплін
Полупан В.В., Сідлецький В.М. Структура 16
автоматизованої системи розширеного ке-
рування для координації суміжних станцій
цукрового заводу
Пупена О.М., Ельперін І.В., Міркевич Р.М. 25
Сучасні стандарти інтегрованого керування
і шляхи їх впровадження в Україні

Біотехнологія і мікробіологія

Скороцька О.І., Харченко Є.В. Рекомбінант- 42
ні організми як перспективні продуценти
фактора некрозу пухлин
Шкут О.О., Карпов О.В. Можливості вико- 49
ристання сидерофорів
Пирог Т.П., Никитюк Л.В. Синергічна дія 58
поверхнево активних речовин *Nocardia vac-*
cini IMV B-7405 і антифунгальних засобів
Лич І.В., Дорошко Ю.М., Бородина О.О., 66
Шульженко В.С. Біоінженерні аспекти
створення каталітичних антитіл

Економіка і соціальний розвиток

Страшинська Л.В., Ніколаєнко І.В. Марке- 75
тингові аспекти розвитку ринку снєків в
Україні
Еш С.М., Головіна В.В. Сучасні зміни у 85
сфері місцевих фінансів

Менеджмент

і стратегічне управління

Сологуб О.П., Никоненко А.В. Матриця 92
Бостонської консалтингової групи як
інструмент аналізу ринку праці
Грищенко Д.Г., Дворак Ю.С. Мотивація 100
персоналу як основний інструмент досяг-
нення цілей організації

Науки про життя

Сімахіна Г.О., Науменко Н.В. Лікарські 109
трави як важлива складова аюрведичної та
вітчизняної систем оздоровлення

Процеси і апарати харчових виробництв

Шевченко О.Ю., Ткачук Н.А., Стадник І.Я., 118
Деркач А.В. Реологічний підхід до валко-
вого нагнітання середовища
Погорілий Т.М. Регресійні рівняння для 126
визначення об'ємної теплоємності с-р між-
кристалльного розчину сахарози при уварю-
ванні цукрового утфелю
Копиленко А.В., Кутовий М.Г., Поводзин- 133
ський В.М., Шибєцький В.Ю. Класифікація
та аналіз роботи промислових ферментерів
з підведенням енергії рідкою фазою
Булій Ю.В., Шиян П.Л., Куц А.М., Кири- 144
ленко Р.Г. Інноваційна технологія ректи-

CONTENTS

Automation and Information Technologies

Povoroznyuk N., Bobrivnyk K., Hribkov S. 7
Designing a database for a student module
within the support system of disciplines study
Polupan V., Sidletskiy V. Structure of the 16
automated extended control system for coor-
dinating adjacent stations of a sugar factory

Pupena O., Elperin I., Mirkevych R. Modern 25
standards of integrated management and ways
of their implementation in Ukraine

Biotechnology and Microbiology

Skrotska O., Kharchenko E. Recombinant 42
organisms as prospective producers of tumor
necrosis factor

Shkut O., Karpov O. Possibilities of applica- 49
tion of siderophores

Pirog T., Nikitiuk L. Synergistic action of 58
Nocardia vaccini IMV B-7405 surfactants
and antifungal agents

Lych I., Doroshko Yu., Borodina O., Shul- 66
zhenko V. Bioengineering aspects of creating
catalytic antibodies

Enterprise Economy and Social Development

Strashynska L., Nikolaenko I. Marketing aspects 75
of snack food market development in Ukraine

Esh S., Holovina V. Actual changes in local 85
finances

Business Administration and Strategic Management

Sologub O., Nykonenko A. Boston consulting 92
group matrix as a tool of labor market analysis

Hryshchenko D., Dvorak Yu. Staff motivation 100
as the main tool For achieving organizational
goals

Life Sciences

Simakhina G., Naumenko N. Herbal medicine 109
as an important component of ayurvedic and
traditional treatment systems

Processes and Equipment for Food Industries

Shevchenko O., Tkachuk N., Stadnyk I., Der- 118
kach A. Rheological approach to roller pum-
ping of the environment

Pogorihy T. Regression equations for deter- 126
mining volumetric heat capacity c-p of inter-
crystalline sucrose solution at sugar masse-
cuite boiling

Kopylenko A., Kutovoy M., Povodzinskiy V., 133
Shybetsky V. Classification and analysis of
the performance of industrial fermenters
supplying energy in a liquid phase

Buliy Y., Shiyan P., Kuts A., Kirilenko R. 144
Innovative technology of rectification in the

фікації в режимі контрольованих циклів затримки і переливу рідини

Якобчук Р.Л., Яровий В.Л. Інертний носій для сушіння харчових продуктів на його поверхні у віброкиплячому шарі

Тепло- і енергопостачання

Бржезицький В.О., Десятов О.М., Маслюченко І.М., Яценко І.С. Частотні характеристики, обумовлені неідентичністю R-, C-елементів високовольтного подільника напруги, призначеного для вимірювання показників якості електроенергії

Балута С.М., Йовбак В.Д., Копилова Л.О., Корольов Є.О. Система керування напругою з нечіткими регуляторами в системі електропостачання промислового підприємства

Романенко В.М. Методи розв'язків задач теплопровідності за допомогою переходу до відповідних різницевих рівнянь на півосі

Павелко В.І., Глиняний С.І. Підвищення енергоефективності парогенераторів малої і середньої потужності в котельних установках м'ясопереробних підприємств

Харчові технології

Гусятинська Н.А., Нечипор Т.М., Тетеріна С.М. Дослідження ефективності застосування природного антимікробного засобу «Бетастаб» при переробленні цукрових буряків

Омельченко Х.В., Полумбрік М.О., Пасічний В.М., Полумбрік О.М. Комплекс йоду з β -циклодекстрином як функціональна добавка у технології варених ковбасних виробів

Сильчук Т.А., Дробот В.І. Дослідження біотехнологічних властивостей тістових напівфабрикатів

Кошова В.М., Мукойд Р.М., Коберніцька А.О. Вплив температури води на тривалість замочування гречки

Янчик М.В., Нємірчі О.В., Гавриш А.В., Янчик О.П. Якість кондитерських напівфабрикатів з рослинними порошками впродовж зберігання

Любцова Ю.Л., Попова Н.В., Мисюра Т.Г. Визначення оптимального складу суміші зелених соусів за вмістом вітаміну С

Марченко Т.С., Поліщук Г.Є. Наукове обґрунтування доцільності використання крохмальної патоки у складі йогуртів

mode of controlled delay loops and overflow of the liquid

Yakobchuk R., Yaroviy V. Inert support for drying foodstuff on its surface in the vibrating fluid bed

Heat and Electricity

Brzhezyskyi V., Desyatov O., Maslyuchenko I., Yatsenko I. Frequency characteristics due to nonidentical R- and C-elements of high-voltage divider for measuring power quality

173 Baluta S., Jovbak V., Kopilova L., Korolyov E. Voltage control system with fuzzy controllers within the power distribution system of industrial plant

182 Romanenko V. Methods of the heat conduction problems solution by means of transition to the corresponding difference equations on the semiaxis

189 Pavelko V., Hlynianyi S. Improving the energy efficiency of steam generators of low and medium power boiler equipment of meat processing plants

Food Technology

196 Husyatynska N., Nechipor T., Teterina S. Study on the effectiveness of natural disinfectant "Betastab" for sugar beet processing

203 Omelchenko Ch., Polumbryk M., Pasichnyi V., Polumbryk O. The complex of iodine with β -cyclodextrin as a functional additive in the technology of cooked sausage products

210 Silchuk T., Drobot V. Research of biotechnologic properties of dough semi-finished products

216 Koshova V., Mukoid R., Kobernitska A. Influence of water temperature on the duration of buckwheat soaking

222 Ianchyk M., Niemirich O., Gavrysh A., Yanchyk O. Quality analysis of confectionery semi-finished products containing plant powders during storage

232 Lyubtsova Y., Popova N., Misyura T. Determining the optimal composition of green sauce mixture over the content of vitamin C

240 Marchenko T., Polishchuk H. Scientific basis for feasibility of using glucose syrup in yogurts

DESIGNING A DATABASE FOR A STUDENT MODULE WITHIN THE SUPPORT SYSTEM OF DISCIPLINES STUDY

N. Povoroznyuk, K. Bobrivnyk, S. Hribkov

National University of Food Technologies

Key words:

*Model of a student
Overlay method
Learning object
Concept
Model of data
The support system of
engineering disciplines
study*

Article history:

Received 05.11.2016
Received in revised form
24.11.2016
Accepted 09.12.2016

Corresponding author:

N. Povoroznyuk
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The article suggests and substantiates a student's model for engineering and technological disciplines. The model is based on the overlay method of declarative and procedural knowledge processing. This enabled to determine the student module features designed for knowledge control, storage of learning outcomes and adaptive management of the process of discipline studying. A database that will provide information support of student's module functioning in the support system of the engineering disciplines study was designed as a base for creating a student module.

ПРОЕКТУВАННЯ БАЗИ ДАНИХ МОДУЛЯ СТУДЕНТА У СИСТЕМІ ПІДТРИМКИ ВИВЧЕННЯ ДИСЦИПЛІН

Н.І. Поворознюк, К.Є. Бобрівник, С.В. Грибков

Національний університет харчових технологій

У статті запропоновано й обґрунтовано структуру моделі студента для інженерно-технічних і технологічних дисциплін. Математична модель ґрунтується на оверлейному методі обробки деклараційних і процедурних знань студента. Це дало змогу визначити функції модуля студента, що призначений для контролю знань, зберігання результатів навчання й адаптивного управління процесом вивчення дисциплін. Для створення модуля студента спроектована база даних, що забезпечить інформаційну підтримку його функціонування і взаємодії з модулем предметної області дисципліни у системі підтримки навчальних дисциплін.

Ключові слова: *модель студента, оверлейний метод, навчальний об'єкт, поняття, модель даних, система підтримки вивчення дисциплін.*

Постановка проблеми. В останні роки набули розвитку електронні засоби навчання, що призвело до появи дистанційної системи навчання за

допомогою інформаційних та електронних засобів. Така концепція здобула назву E-learning (Electronic Learning). Головною подією для розвитку даного напрямку є поява у 2010 р. відкритих он-лайн курсів, на яких одночасно навчаються сотні тисяч студентів [7]. Для того, щоб підвищити якість навчання, навчальні заклади використовують засоби E-learning [8;14]. Виділяють такі категорії сучасних електронних засобів навчання [9]: корпоративні системи управління навчанням (LMS, Corporate Learning Management Systems), системи управління навчальним контентом (LCMS, Learning Content Management Systems), засоби розробки навчального контенту (Course Authoring Tools), віртуальні класи (Virtual Classrooms) або віртуальні навчальні середовища (VLE, Virtual Learning Environment), освітні системи управління навчанням (ELMS, Education Learning Management Systems). Центральним компонентом системи підтримки навчання є модуль студента, що дає змогу здійснювати управління знаннями студентів, забезпечувати адаптивність процесу вивчення і відслідковувати його якість [5; 6].

Проблема розвитку та вдосконалення засобів E-learning з кожним роком стає більш актуальною для кожного вищого навчального закладу, тому що від якості підготовлених кадрів залежить майбутнє, а більшість сучасних компаній прагнуть отримати кваліфікованих робітників. Актуальність використання засобів E-learning підтверджує потік капіталовкладень у світовій індустрії електронного навчання, що складає 48 млрд дол. США у 2000 р. [8].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання створення якісних засобів навчання є надзвичайно актуальним при безперервному навчанні [10; 12] для забезпечення адаптивного та індивідуального підходу до навчального процесу у ВНЗ [13]. Сучасні методи та підходи до побудови електронних засобів навчання у вітчизняній і зарубіжній літературі описані у працях [5; 9; 10; 11]. Незважаючи на це, у сфері інженерно-технічного і технологічного навчання розроблено недостатньо електронних засобів, що мають універсальний характер і можуть бути застосовані у процесі вивчення цих дисциплін.

Мета статті: розробити математичну та інформаційну моделі функціонування модуля студента для системи підтримки вивчення інженерно-технічних і технологічних дисциплін.

Виклад основних результатів дослідження. Для моделювання системи підтримки вивчення декларативних і процедурних знань інженерно-технічних і технологічних дисциплін застосовано оверлейний метод управління навчанням, описаний у працях [2; 3]. Структура дисципліни ґрунтується на онтологічній моделі, в основі якої лежать поняття [4]. Оверлейна векторна модель ґрунтується на теоремі Байєса. Мета системи підтримки вивчення навчальної дисципліни полягає в досягненні заданих рівнів навченості (межових імовірностей) для всіх чи вибраних фрагментів навчального матеріалу. Контроль здійснюється за допомогою тестових завдань за заданий час [6]. З кожним елементом моделі студента пов'язані гіпотези про ступені засвоєння відповідного йому навчального фрагмента. На кожному кроці навчання формується перелік навчальних дій для студента з усіх навчальних фрагментів, які містять визначений перелік понять у процесі вивчення даної теми і є

адаптивними для даного студента, на основі продукційних правил системи підтримки навчання.

Модель навчального процесу з використанням електронних засобів навчання традиційно описують [5; 9] як взаємодію трьох складових – модель студента, модель предметної області дисципліни і модель обробки знань студента, що містить набір правил роботи студента в системі:

$$MIST = \langle LMs, DM, OMZ \rangle, \quad (1)$$

де LMs — модель студента; DM — модель предметної області; OMZ — модель обробки знань студента.

Модель студента складається з двох компонент:

- модель особових характеристик;
- модель знань про дисципліну.

Модель студента LMs має такий вигляд [6]:

$$LMs = \langle MIDs, FMKs \rangle, \quad (2)$$

де $MIDs$ — модель індивідуальних характеристик студента; $FMKs$ — модель декларативних і процедурних знань студента. Таким чином враховуються індивідуальні особливості кожного окремого студента, а також набір знань, який він опанував при вивченні дисципліни.

Модель індивідуальних характеристик студента $MIDs$ для інженерно-технічних і технологічних дисциплін містить дві складові, а саме: Rs — мотивація до набуття знань; Ms — провідна система сприйняття навчального матеріалу:

$$MIDs = \langle Rs, Ms \rangle. \quad (3)$$

Модель знань студента є множиною і її доцільно представити як:

$$FMAKs = \langle Kn_s, Ab_s, Ks, cp_s \rangle, \quad (4)$$

де Kn_s — рівень декларативних знань студента; Ab_s — рівень процедурних знань студента; Ks — результати контролю знань студента; cp_s — перелік понять, засвоєних із даної дисципліни.

Для управління навчанням пропонується використати продукційний метод, тому що він не є достатньо громіздким для опису процесу навчання, на відміну від його застосування для опису кожної навчальної дії студента [5]. Як модель обробки знань студента запропоновано оверлейну модель, що описана в [3]. Ядро оверлейної моделі знань студента має вигляд вектора, що містить декларативні і процедурні знання з предметної області дисципліни, засвоєні на кожному кроці вивчення дисципліни:

$$D(k) = [D_1(k), D_2(k), ..., D_j(k), ..., D_j(k)], \quad (5)$$

де $D_j(k)$ — ймовірність вірного застосування j -го продукційного правила на k -ому кроці вивчення дисципліни.

Ймовірність вірного застосування продукційного правила обчислюється з використанням байєсовського підходу за результатами складання тесту на

k -му кроці навчання [3]. Зв'язок правил роботи системи із поняттями дисципліни демонструє відношення:

$$OMZ = D(k) \times cp. \quad (6)$$

Модель предметної області являє собою навчальний матеріал дисципліни, що складається з таких видів навчальних фрагментів: теоретичних, практичних, контрольних. Властивості кожного навчального об'єкта описуються вектором параметрів — метаданими згідно із стандартом SCORM [1; 4; 5]. Формування і видача студентів відповідного навчального матеріалу відбувається за результатами тестування і забезпечується встановленням взаємозв'язку навчальних фрагментів і понять, фрагментів практичних занять і понять, тестових завдань і понять. Модель предметної області дисципліни математично описується так:

$$DM = \langle FCd, MSd, Tld, PLd, SFd, Kd, cp \rangle, \quad (7)$$

де FCd — цілі вивчення дисципліни; MSd — перелік модулів дисципліни; MT — теми дисципліни; Tld — теоретичні навчальні фрагменти; PLd — практичні навчальні фрагменти; Kd — контрольні навчальні фрагменти; SFd — модель навчального об'єкта; cp — сукупність понять дисципліни.

Сукупність понять і їх визначення по суті є тлумачним словником, що забезпечує вивчення дисципліни. Структуру поняття навчальної дисципліни доцільно представити таким чином:

$$cp = \langle p_c, k_c, v_c, l_c \rangle, \quad (8)$$

де p_c — поняття; v_c — зміст поняття; l_c — розташування матеріалу; k_c — джерело інформації.

Модель навчального фрагмента TLF має вигляд:

$$TLF = \langle n_f, nm_f, k_f, v_f, e_f, cp \rangle, \quad (9)$$

де n_f — номер навчального фрагмента в темі, визначається ієрархією розташування навчальних об'єктів усієї дисципліни і вказує на порядок їх вивчення; nm_f — назва навчального фрагмента; k_f — тип навчального фрагмента (декларативний, процедурний); v_f — обсяг навчального фрагмента: базовий, детальний); e_f — форма представлення навчального фрагмента (текст-опис, аудіо, схематичне пояснення, табличне пояснення, анімація, відео, презентація, картинка); cp — набір понять, що містить даний теоретичний навчальний фрагмент.

Для опису взаємозв'язку теоретичних навчальних фрагментів і понять використаємо відношення:

$$TLF \in tl_f \times cp, \quad (10)$$

де tl_f — множина теоретичних навчальних фрагментів дисципліни; cp — множина понять.

Особливістю інженерно-технічних і технологічних дисциплін є практичні заняття, які є обов'язковими елементами програми. Основною ознакою таких

занять є те, що вони включають контроль теоретичних знань протягом відпрацювання індивідуальних завдань. Практичні заняття містять різні варіанти завдань і понять, що відносяться до різних навчальних фрагментів дисциплін, що дає змогу підтримувати постійний стимул до збереження й оновлення знань у студента. Параметри навчального фрагмента практичного заняття такі:

$$PLF = \langle n_pl, t_pl, v_pl, l_pl, cp \rangle, \quad (11)$$

де PLF — набір практичних/лабораторних занять або завдань, що включені в одну тему; n_pl — номер навчального фрагмента практичного завдання; t_pl — текст навчального фрагмента практичного завдання; v_pl — вміст практичного завдання; l_pl — рівень практичного завдання (легкий, середній, складний); cp — набір понять, що включений у навчальний фрагмент практичного заняття.

$$PLF \in pl_f \times cp. \quad (12)$$

Параметри тестових завдань опишемо так:

$$k_tz = \langle n_tz, nm_tz, t_tz, l_tz, f_tz, cp \rangle, \quad (13)$$

де n_tz — номер тестового завдання; nm_tz — тестове завдання; t_tz — тип тестового завдання; l_tz — рівень тестового завдання (низький, середній, високий); f_tz — вірна відповідь; cp — поняття, що розкриває тестове завдання.

Поняття, що використовуються в тестовому завданні, є його невід'ємною частиною. Взаємозв'язок тестових завдань і понять відображає відношення:

$$KTZ \in k_tz \times cp, \quad (14)$$

де k_tz — множина тестових завдань дисципліни; cp — множина понять.

Це відношення задається матрицею $\|ktz_{j,t}\|$, рядки якої відповідають тестовим завданням $k_tz_1, k_tz_2, \dots, k_tz_j, \dots, k_tz_J$, а стовпці — поняттям $cp_1, cp_2, \dots, cp_t, \dots, cp_T$. Матриця (табл.) є одиничною, а кожен з елементів матриці $\|ktz_{j,t}\|$ визначається так:

$$ktz_{j,t} = \begin{cases} 1, & \text{якщо в } k_tz_j \text{ використовується } cp_t \\ 0, & \text{якщо в } k_tz_j \text{ не використовується } cp_t \end{cases}.$$

Таблиця. Матриця взаємозв'язку тестових завдань і понять навчальної дисципліни

Тестові завдання	Поняття								
	cp_1	cp_2	cp_3	cp_4	cp_5	...	cp_t	...	cp_T
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
k_tz_1	1	0	1	1	1		1		0
k_tz_2	0	0	1	0	1		1		0

Продовження табл.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
k_{tz_3}	1	1	1	1	1		0		0
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
k_{tz_j}	0	1	0	0	1		0		1
...									
k_{tz_J}	1	0	0	0	0		0		1
	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	...	s_t	...	s_T

Структура взаємозв'язку тестових завдань і понять дисципліни має матричний вигляд. У таблиці представлений приклад матриці $\|k_{tz_{j,t}}\|$ з додатковим нижнім рядком, що містить кількість понять тестового завдання $cp_i(t=1, \overline{T})$. Усі тестові завдання розташовані в порядку вивчення дисципліни. Визначається кількість завдань за формулою:

$$S_i = \sum_j k_{tz_{j,t}}, \quad (15)$$

де S_i — кількість тестових завдань зі всієї множини тестових завдань KTZ , в яких використовується поняття cp_i . Необхідно дотримуватися умови $3 \leq S_i$, тому що засвоєння навчального матеріалу, згідно з теорією дидактики, відбувається при застосуванні понять на різних етапах вивчення дисципліни не менше трьох раз.

Для всіх видів навчальних фрагментів дисципліни використовується структура матриці (див. табл.). Таким чином, відбувається оцінка опрацювання кількості тестових завдань і відповідних декларативних і процедурних понять кожного навчального об'єкта, що студент отримав під час вивчення навчального матеріалу, і тих, що були ним засвоєно. Модуль студента, призначений для управління процесом вивчення, показує ступінь засвоєння навчального матеріалу дисципліни і знань студента. Модуль студента забезпечує такі функції системи:

- визначення індивідуальних характеристик студента;
- адаптивне управління представленням форм навчальних фрагментів за визначеними індивідуальними характеристиками студентів;
- забезпечення контролю знань тестовими завданнями за трьома рівнями складності;
- оцінка оволодіння навчального матеріалу студентами по кожному навчальному фрагменту, за рахунок визначення засвоєних понять;
- формування множини навчальних фрагментів для повторного вивчення незасвоєних розділів на основі результатів тестування контролю знань;
- аналіз результатів вивчення студентами навчальних фрагментів, що дасть змогу управляти розподіленням годин на їх вивчення.

Для підтримки функціонування модуля студента було побудовано модель даних, що охоплює всі інформаційні потоки з використанням CASE-засобу проектування та документування баз і сховищ даних AllFusion ERwin Data Modeler.

AllFusion ERwin Data Modeler надає можливість будувати схему даних, використовуючи логічний і фізичний рівень представлення інформації у предметній області. Логічний рівень дає змогу представити існуючі документи та джерела інформації, наближені до процесу автоматизації всієї предметної області. Фізичний рівень дозволяє отримати реляційну модель даних майбутньої бази даних, орієнтовану на різні СУБД.

Фізичний рівень побудованої моделі даних орієнтовано на СУБД MS SQL Server. Фрагмент моделі даних представлено на рисунку. Побудована модель даних дасть змогу отримати SQL-код для генерації основного фрагмента структури бази даних системи підтримки вивчення дисципліни. Ця структура буде використана в модулі студента як джерело інформації та для забезпечення його функціонування.

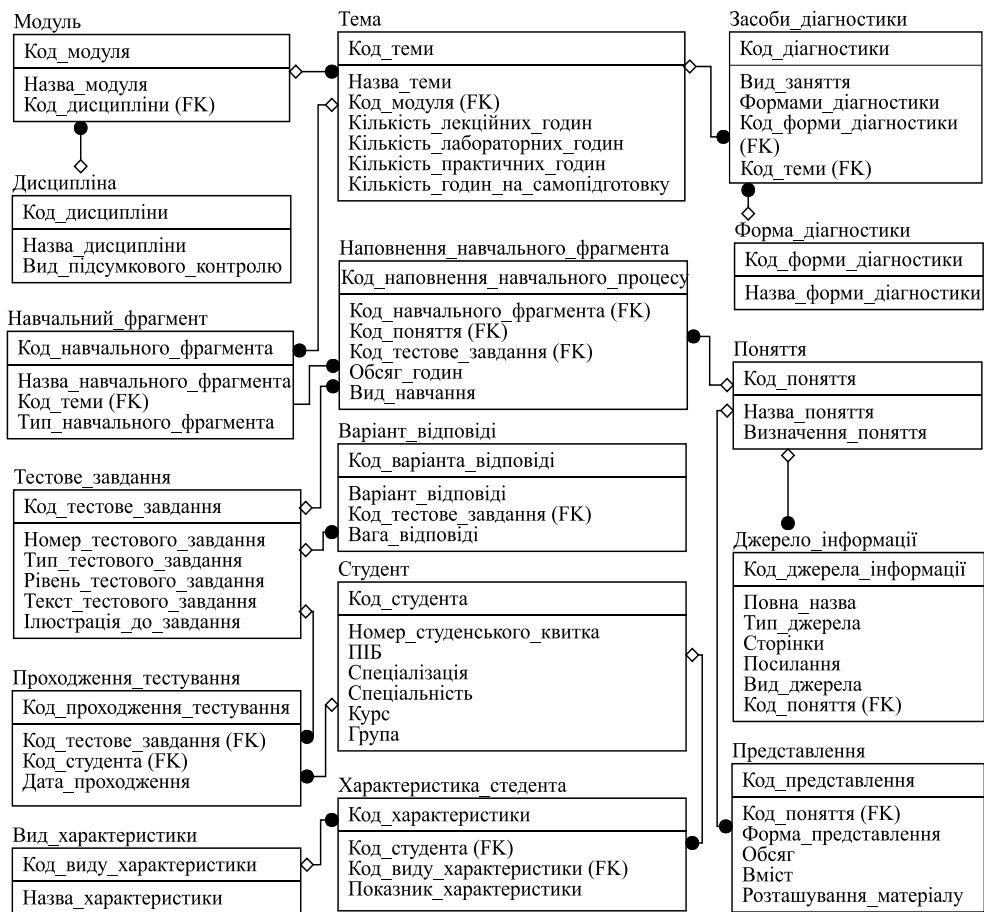


Рис. Структура логічної моделі даних системи підтримки вивчення дисципліни

Система підтримки вивчення дисципліни забезпечує покращення якості процесу навчання студентів за рахунок використання модуля студента, який є центральною компонентою для управління навчанням.

Висновки

У результаті проведеного дослідження удосконалено модуль студента для вивчення інженерно-технічних і технологічних дисциплін. Проведено математичне моделювання процесу вивчення інженерно-технічних і технологічних дисциплін з використанням оверлейного методу.

Для вивчення інформаційних джерел підтримки навчання проведено інформаційне моделювання з використанням CASE засобу проектування та документування баз і сховищ даних AllFusion ERwin Data Modeler. Розроблена модель даних є реляційною та орієнтованою на СУБД MS SQL Server. Модель даних буде використана для створенні БД, що забезпечить інформаційну підтримку роботи модуля студента для вивчення інженерно-технічних і технологічних дисциплін з використанням електронних засобів навчання.

Література

1. Поворознюк Н.І. Обґрунтування вибору алгоритму обробки інформації для моделі знань студента / Н.І. Поворознюк, С.В. Грибков, К.Є. Бобрівник // Materials of the XI International scientific and practical conference 30.01-07.02.2015, "Science and civilization". — 2015. Volume 23. Mathematics. Modern information technologies. — Sheffield : Science and education LTD. — P. 61—64.
2. Ildar Galeev, Larissa Tararina, Oleg Kolosov, Vlad Kolosov Structure and implementation of partially integrated adaptive learning environment, in Allison Rossett (ed): Proceedings of E-Learn 2003, Phoenix. — Arizona USA. — November 7—11. — P. 2151—2154.
3. Peacher D.R., McCalla G.I. Using Planning Techniques in Intelligent Tutoring System / Intern. J. Man-Machine Studies. — 1986. — # 24. — P 234—238.
4. Бобрівник К.Є. Онтології — засіб для формування змісту навчальних дисциплін / К.Є. Бобрівник, Н.І. Поворознюк // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. — Харків : НТУ «ХПІ». — 2015. — № 33(1142). — С. 119—124.
5. Верлань А.Ф. Когнитивное управление в интеллектуальных обучающих системах / А.Ф. Верлань, М.Ф. Ус, А.В. Пискун, В.А. Федорчук. — Черкассы : РИО Черкасского института управления, 2002. — 104 с.
6. Бобрівник К.Є. Розробка модуля студента для електронних засобів навчання технічних і технологічних дисциплін / К.Є. Бобрівник, Н.І. Поворознюк // Наукові записки Українського науково-дослідного інституту зв'язку. — Київ : ДП «УНДІЗ». — 2015. — Т. 35. — № 1. — С. 76—80.
7. Сараев В. Неленинский университет миллионов // Эксперт: журнал. — Москва, 2014. — № 28 (907). — ISSN 1812—1896.
8. Udaya Sri K., Vamsi Krishna T. V. E-Learning: Technological Development in Teaching for school kids / International Journal of Computer Science and Information Technologies. — 2014. — P. 6124—6126.
9. Vendors of Learning Management and E-Learning Products By Don McIntosh, Ph.D. (2012) — 144 p. — Режим доступу: <http://www.trimeritus.com>.
10. Титенко С.В. Генерація індивідуального навчального середовища на основі моделі професійних компетенцій у Web-системі безперервного навчання / С.В. Титенко // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. — 2009. — № 1 (131). — Ч. 2. — С. 267—273.
11. Zaitseva L., Boule C. Student models in Computer-based Education // Proceedings of the 3-rd IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies. ICALT 2003. — Athens, Greece, 2003. — P. 451.
12. Афанасьев Ю.И. Оптимизация модели управления процессом обучения / Ю.И. Афанасьев // Современные проблемы науки и образования scholar. — № 1—1 — 2015 [Электрон-

ный ресурс]. — Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-modeli-upravleniya-protsessom-obucheniya>.

13. Анохина-Наумец А.В. Интеллектуальная система оценивания знаний: модель студента и методика экспериментальной проверки алгоритма адаптации / А.В. Анохина-Наумец, Р.С. Лукашенко // Международный электронный журнал «Образовательные технологии и общество (Educational Technology & Society)» — 2011. — Т. 14. — № 2. — С. 346—362.

14. Zaitseva L., Bule J. E-learning courses using and evaluation in Riga Technical University / Proc. of the 8th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2008). — Spain, Santander, Cantabria, 2008. — P. 1057—1058.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ МОДУЛЯ СТУДЕНТА В СИСТЕМЕ ПОДДЕРЖКИ ИЗУЧЕНИЯ ДИСЦИПЛИН

Н.И. Поворознюк, Е.Е. Бобровник, С.В. Грибков

Национальный университет пищевых технологий

В статье предложена и обоснована структура модели студента для инженерно-технических и технологических дисциплин. Математическая модель основывается на оверлейном методе обработки декларационных и процедурных знаний студента. Это дало возможность определить функции модуля студента, который предназначен для контроля знаний, хранения результатов обучения и адаптивного управления процессом изучения дисциплин. Для создания модуля студента спроектирована база данных, которая обеспечит информационную поддержку его функционирования и взаимодействия с модулем предметной области дисциплины в системе поддержки учебных дисциплин.

Ключевые слова: модель студента, оверлейный метод, учебный объект, понятие, модель данных, система поддержки изучения дисциплин.

STRUCTURE OF THE AUTOMATED EXTENDED CONTROL SYSTEM FOR COORDINATING ADJACENT STATIONS OF A SUGAR FACTORY

V. Polupan, V. Sidletskiy

National University of Food Technologies

Key words:

*Sugar refinery
Automation control
system
Coordination
Decision support system*

Article history:

Received 12.11.2016
Received in revised form
24.11.2016
Accepted 07.12.2016

Corresponding author:

V. Polupan
E-mail:
serunder@mail.ru

ABSTRACT

This article describes an approach to the development of the structure of an extended control system of a sugar factory, which is characterized by additional modules for coordinating the work of related departments of the sugar factory, and decision-support system for operators in difficult situations. The objective of this system is to provide assistance to specialists in preparing and selecting rational decisions in difficult situations that arise during the operation of real time automation control system, based on the knowledge acquired by experts and processed by means of computer. It is also used for prediction and coordination of interactions between departments and factory control systems.

СТРУКТУРА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ РОЗШИРЕНОГО КЕРУВАННЯ ДЛЯ КООРДИНАЦІЇ СУМІЖНИХ СТАНЦІЙ ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ

В.В. Полупан, В.М. Сідлецький

Національний університет харчових технологій

У статті описано підхід до розробки структури системи розширеного керування ділянками цукрового заводу, що характеризується додатковими модулями, які забезпечують координацію роботи суміжних відділень цукрового заводу і підтримку прийняття рішень оператором у складних ситуаціях. Завданням такої системи є надання допомоги спеціалістам у процесі підготовки та вибору раціональних рішень у складних ситуаціях, що виникають при функціонуванні АСУ реального часу, на основі знань, набутих спеціалістами-експертами й оброблених обчислювальними засобами, а також для прогнозування взаємодій та узгодження взаємодій між відділеннями заводу й системами керування.

Ключові слова: цукровий завод, АСУТП, координація, система підтримки прийняття рішень.

Постановка проблеми. На сьогодні високий рівень розвитку мікропроцесорних засобів дає змогу використовувати технічні засоби з високими

експлуатаційними характеристиками. Первинні перетворювачі надають можливість отримати достовірні значення контрольованих параметрів технологічного процесу. Комп'ютеризовані засоби дозволяють реалізовувати найскладніші алгоритми управління, забезпечуючи високу якість проведення технологічних процесів і реалізацію таких функцій, як:

- визначення та реалізація оптимального режиму функціонування кожного з технологічних агрегатів;
- стабілізація технологічних параметрів (тиску, температур, рівнів);
- програмне керування зміною технологічних параметрів (реалізація заданого графіка зміни температури в печі);
- підтримання певного співвідношення між параметрами;
- логічне управління обладнанням;
- аварійне відключення тощо.

Типова структурна схема управління (АСУ ТП) на цукровому заводі має вигляд, представлений на рис. 1.

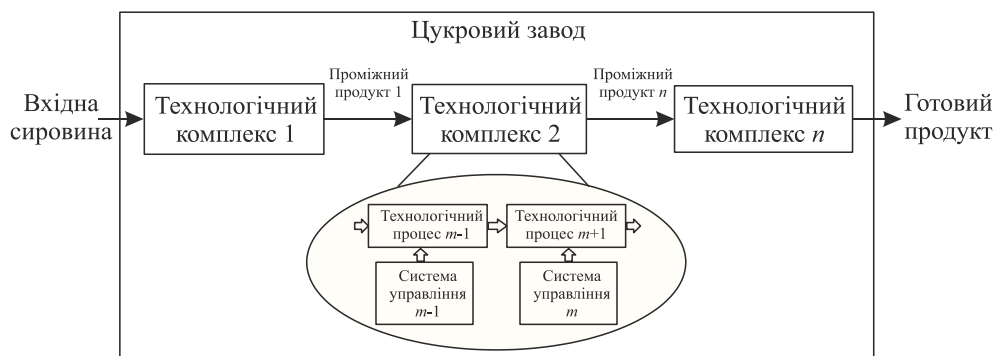


Рис. 1. Типова структура управління технологічними ділянками цукрового заводу

Сучасні АСУ ТП дають змогу забезпечувати виконання всіх покладених функцій. За останніми тенденціями системи керування будуються як ієрархічні системи, де на нижньому рівні знаходиться АСУТП, на верхньому рівні ERP система — корпоративна інформаційна система (КІС), призначена для автоматизації обліку й управління бізнес процесами [1]. Для поєднання технологічних процесів і бізнес процесів в єдиний інформаційний простір можуть використовуватися MES системи, призначені для вирішення завдань синхронізації, координації, аналізу й оптимізації випуску продукції в рамках виробництва [2].

Якість функціонування системи в цілому залежить від ефективного функціонування підсистем кожного рівня, а також від якості взаємодії підсистем між собою [3], тому при аналізі та проектуванні систем необхідно звертати особливу увагу на місця стику суміжних підсистем як технічних, так і підсистем управління.

АСУТП являє собою систему операторського управління технологічним процесом у вигляді автоматизованого робочого місця, де використовуються засоби збору, обробки й архівування інформації про хід процесу. Система

управління технологічним процесом ділянки цукрового заводу складається з типових засобів автоматики: датчиків, пристроїв керування, виконавчих пристроїв. Складовими частинами АСУТП є системи: автоматичного управління, диспетчерського управління та збору даних SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).

Використання таких підходів сприяє підвищенню продуктивності, зменшенню витрат тощо, але важливим залишається питання: яким чином найефективніше поєднати роботу оператора з технічними засобами, прискорити прийняття ним критичних рішень, ефективно передавати свій досвід недосвідченим операторам.

Підвищення якості і скорочення часу прийняття рішень при управлінні промисловими комплексами та складними технічними системами різного призначення в теперішній час неможливе без розробки ефективних програмних і апаратних засобів, що підтримують діяльність осіб, які приймають рішення. Особливо гостро стоїть ця проблема при прийнятті рішень в АСУ реального часу, де особливо відчувається дефіцит часу, а наслідки при несвочасному або неправильному прийнятті рішення можуть бути катастрофічними [4].

Мета дослідження: розробка підсистеми, основним завданням якої є надання допомоги спеціалістам у процесі підготовки і вибору раціональних рішень у складних ситуаціях, що виникають при функціонуванні АСУ реального часу, на основі знань, набутих спеціалістами-експертами й оброблених обчислювальними засобами.

Виклад основних результатів дослідження. Аналіз роботи станції дефекосатурації дає змогу виділити проблеми й відхилення, які виникають і вирішуються всередині досліджуваного об'єкта. Наприклад, причиною скрипів і шумів у роботі змішувального пристрою може бути накопичення осаду на дні апарата. Така проблема вирішується оператором станції дефекосатурації, який виконує продувку апарата. Також прикладом може бути потрапляння в сік крупних частинок осаду. Причиною цього може бути велике відкладення осаду на дні сатуратора, тому для вирішення даної проблеми рекомендується виконати продувку сатуратора.

Також можливі проблеми, які безпосередньо не пов'язані з роботою станції дефекосатурації. Такі проблеми виникають унаслідок порушень режимів роботи суміжних відділень. Наприклад, сповільнена робота сатуратора і викидання соку в переливну коробку дефекатора може бути викликана як внутрішніми проблемами — відкладення осаду на решітках сатуратора, так і зовнішніми — низький вміст CO_2 в сатураційному газі або низька щільність дифузійного соку. У випадку з низьким вмістом CO_2 проблема вирішується шляхом налагодження роботи вапняково-газової печі, а у випадку з низькою щільністю слід налагодити роботу дифузійної установки.

Вирішенням зазначених проблем має займатися не система управління станції дефекосатурації, а системи управління відповідних суміжних відділень (вапняково-випалювального і дифузійного). Оператор станції дефекосатурації при фіксації таких неполадок немає можливості одразу вплинути на ситуацію.

Насамперед необхідно розглянути основну структуру управління станцією дефекосатурації і суміжних станцій.

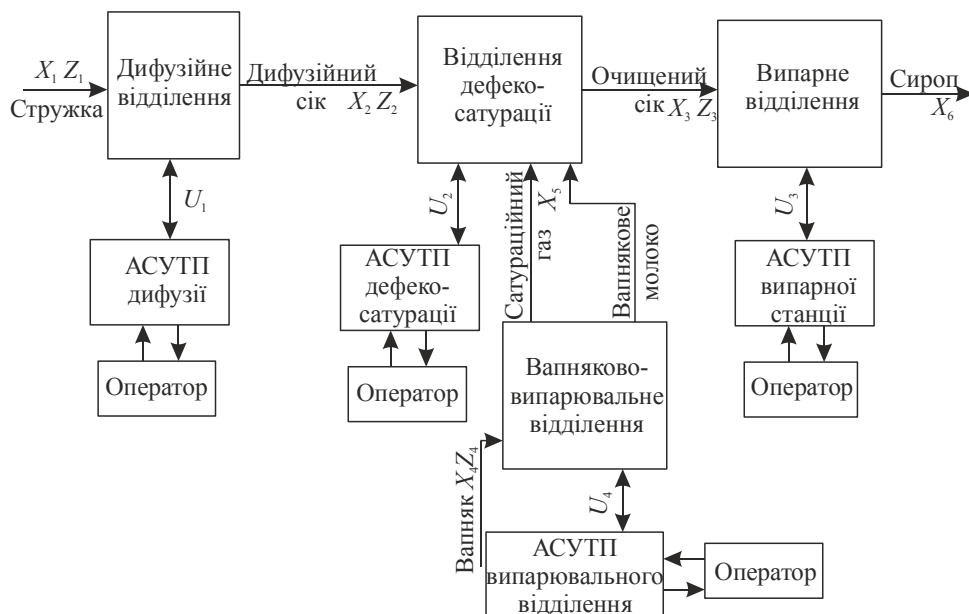


Рис. 2. Структурна схема управління, а також матеріальні потоки станції дефекосатурації і суміжних ділянок

Як видно із структурної схеми, суміжними для станції дефекосатурації є дифузійна станція, випарна станція і вапняково-випарювальне відділення. Кожна суміжна станція, включаючи станцію дефекосатурації, управляється за допомогою своєї автоматизованої системи управління — АСУТП дифузії, АСУТП дефекосатурації, АСУТП випарної станції і АСУТП вапняково-випарювального відділення. Кожною системою управління керує відповідний оператор. Усі дані про перебіг технологічного процесу потрапляють до центрального архіву.

Слід зазначити, що в технологічному процесі явно існують взаємозв'язки між технологічними змінними кожного відділення. Структуру матеріальних потоків ТК показано на рис. 2, де X_i — вектор вхідних величин; U_i — вектор керувань; Z_i — вектор збурень.

Для відділення дифузії вектор вхідних змінних $X_1 = [x_{1.1}, x_{1.2}, \dots, x_{1.n}]$ складається з таких параметрів, як витрата стружки, цукристість стружки, цукристість тощо. Вектор збурень $Z_1 = [z_{1.1}, z_{1.2}, \dots, z_{1.n}]$ складається з таких параметрів, як рН екстрагента, зміна коефіцієнтів теплообміну тощо.

Система управління дифузійного відділення виконує такі функції, як регулювання питомого навантаження апарата; регулювання рівня в головній частині апарата; регулювання вмісту цукру в дифузійному соку; регулювання температурного режиму апарата; управління подачею жомопресової води тощо. Ці управляючі дії реалізуються за допомогою вектора управління $U_1 = [u_{1.1}, u_{1.2}, \dots, u_{1.n}]$.

Для відділення дуфекосатурації вектор вхідних змінних складається з вектора $X_2 = [x_{2,1}, x_{2,2}, \dots, x_{2,n}]$, що містить такі параметри, як витрата соку (відкачування) з дифузійного апарата; вміст цукру в соку; вміст сухих речовин тощо. Вектор $X_5 = [x_{5,1}, x_{5,2}, \dots, x_{5,n}]$ містить такі параметри, як вміст CO_2 в сатураційному газі з вапняково-випалювального відділення; густина вапнякового молока тощо. Вектор збурень $Z_2 = [z_{2,1}, z_{2,2}, \dots, z_{2,n}]$ складається з таких параметрів, як температура соку, рН соку тощо. На станції сокоочистки система автоматизації виконує такі функції: регулювання витрати вапняного молока в переддефектор, холодний дефектор і дефектор перед другою сатурацією відносно витрати дифузійного соку; регулювання витрати суспензій соків першої і другої сатурації в переддефектор; регулювання витрати дефекowanego соку на першу сатурацію; регулювання витрати фільтрованого соку першої сатурації на другу сатурацію; регулювання рН соку на першій та другій сатурації. Ці управляючі дії реалізуються за допомогою вектора управління $U_2 = [u_{2,1}, u_{2,2}, \dots, u_{2,n}]$.

Для випарного відділення вектор вхідних змінних складається з вектора $X_3 = [x_{3,1}, x_{3,2}, \dots, x_{3,n}]$, що містить такі параметри, як витрата фільтрованого соку другої сатурації; вміст сухих речовин; доброякісність очищеного соку; кольоровість соку тощо. Вектор збурень $Z_3 = [z_{3,1}, z_{3,2}, \dots, z_{3,n}]$ складається з таких параметрів, як температура і теплоємність гріючої пари; тиск гріючої пари; розрідження на конденсаторній установці тощо. Оптимальні умови роботи випарної установки забезпечуються шляхом контролю та регулювання по корпусам цілого ряду параметрів. Система автоматизації випарної станції повинна забезпечувати регулювання витрати фільтрованого соку на ВС; регулювання рівня в корпусах ВС; регулювання розрідження в концентраторі; регулювання температури соку перед ВС тощо. Ці управляючі дії реалізуються за допомогою вектора управління $U_3 = [u_{3,1}, u_{3,2}, \dots, u_{3,n}]$.

Для вапняково-випалювального відділення вектор вхідних змінних складається з вектора $X_4 = [x_{4,1}, x_{4,2}, \dots, x_{4,n}]$, що містить такі параметри, як якість вапнякового каменя; якість палива тощо. Вектор збурень $Z_4 = [z_{4,1}, z_{4,2}, \dots, z_{4,n}]$ складається з таких параметрів, як температура в печі; відбір вапна; відбір сатураційного газу тощо. Система управління забезпечує відповідно до заданих технологічними параметрами підтримку режимів горіння, а також відображення стану механізмів і режимів роботи печі; управління автоматичною подачею сировини в піч; управління системою газових пальників; регулювання температури в печі. Ці управляючі дії реалізуються за допомогою вектора управління $U_4 = [u_{4,1}, u_{4,2}, \dots, u_{4,n}]$.

Процес функціонування ТК цукрового заводу і систем керування ним надає можливість стверджувати, що в загальному випадку виникає проблема координації роботи керованих підсистем, вирішення якої забезпечить найкращі техніко-економічні показники функціонування автоматизованих ТК.

Координація — специфічне завдання ієрархічної системи керування. Основні принципи координації такі: прогнозування взаємодії, коли координація здійснюється завданням змінних взаємодії координованих підсистем; узгодження взаємодій, що передбачає модифікацію локальних функцій мети за

допомогою параметрів, які задаються координатором; оцінювання взаємодій, що можна розглядати як узагальнення принципу прогнозування взаємодій [5].

У технологічному комплексі виділено N підсистем, при функціонуванні яких можуть виникати конфліктні ситуації. Так, у разі послідовного з'єднання підсистем економічність E залежно від навантаження Q може мати вигляд кривих 1 і 2, а робоча точка A — змінювати своє положення внаслідок деформування та дрейфу кривих (рис. 3)

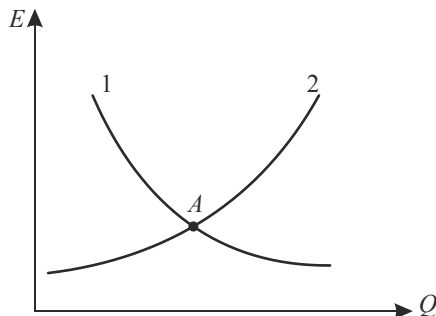


Рис. 3. Залежність економічності підсистем E від навантаження Q

Економічність екстрагування і відкачування збільшується (зменшуються втрати цукру), а економічність випарювання зменшується, оскільки при цьому витрачається більша кількість палива (1):

$$\begin{cases} S = DF \frac{C-c}{d/4} \tau; \\ W = A \left(1 - \frac{r_1}{r_2} \right), \end{cases} \quad (1)$$

де S — кількість продифундованої речовини, середня концентрація нормального соку всередині стружки за весь час її вихолоджування; c — середня концентрація соку ззовні стружки; D — коефіцієнт дифузії; F — поверхня дифундування; τ — час; W — маса пари, витраченої на випарювання 1 кг соку; A — маса очищеного соку; r_1 — початковий вміст сухих речовин у соку; r_2 — необхідний вміст сухих речовин у згущеному сиропі.

Існує точка A , в околі якої потрібно підтримувати робочий режим координованих підсистем. Положення точки A під час роботи постійно змінюється через те, що характеристика сировини, кількість і характеристика енергоносіїв, тому цю точку слід шукати постійно [5].

Якщо для координованих підсистем відомі критерії оптимальності й вони мають вигляд інтегральної функції:

$$I_i = \int_0^t F(X, U, Z, t) dt \rightarrow 0, \quad (2)$$

то найпростішим способом керування ТК є адитивна функція згортки:

$$I_{TK} = \sum_{i=1}^N I_i \rightarrow 0 . \quad (3)$$

Такий підхід за правильної реалізації дає змогу проводити технологічний процес на оптимальному рівні, але він мало допомагає при випадкових критичних ситуаціях, несправностях та інших проблемах, які було описано на початку статті, тобто ті ситуації, в яких виникає проблема прийняття рішення і правильних дій залежності від ситуації, яка склалася на об'єкті. Прийняття неправильних, необґрунтованих рішень призводить до тяжких наслідків.

Виникає необхідність створення системи підтримки прийняття рішень. Необхідними умовами функціонування підсистеми підтримки прийняття рішень є висока швидкість розв'язку задач, здатність системи до перспективного пошуку рішень, адаптація системи, реакція системи на події, можливість переривання роботи на перепланування.

Підсистема підтримки прийняття рішень повинна:

- оцінити стан (ситуацію);
- вибрати критерії, визначити їх відносну важливість;
- згенерувати можливі рішення;
- дати оцінку всім рішенням і вибрати краще;
- забезпечити постійний обмін інформації про стан прийнятих рішень і допомогти узгодити групові рішення;
- створити динамічний комп'ютерний аналіз можливих наслідків прийнятих рішень;
- вести збір даних про результати прийнятих рішень і здійснювати оцінку результатів.

Задачі, які вирішуються за допомогою підсистеми підтримки прийняття рішень, як правило, мають велику кількість невизначеностей. Ці невизначеності можна класифікувати за такими ознаками:

- невизначеності зв'язані з неповнотою наших знань про проблеми, щодо яких ми приймаємо рішення;
- невизначеність через неможливість точного прогнозування реакції системи на наші дії;
- неточне розуміння своїх цілей оператором.

Ці невизначеності спростовуються спеціалістом, який вибудовує ланцюг дій за допомогою переваг, тобто вибору найважливішого.

Для кращого управління цукровим заводом структура автоматизованої системи для розширеного керування, направлена на координацію суміжних станцій цукрового заводу, повинна мати ряд додаткових модулів. Для того, щоб виявити відхилення, всі технологічні параметри, які контролюються безпосередньо чи є результатом комплексного виведення, повинні бути в єдиному інформаційному просторі, що аналізується системою керування, причому дані повинні аналізуватись як статично (відносно один одного), так і динамічно (як вони змінюються в часі).

У цілому система вдосконаленого керування технологічним процесом матиме вигляд, представлений на рис. 4. Насамперед система доповнюється блоком «Прийняття рішень», який проводить аналіз роботи ділянки включно

із системою керування, потім, використовуючи дані аналізу, моделюється та перевіряється можливість появи нештатної ситуації, а також блоком «Координації відділень» для прогнозування взаємодії й узгодження взаємодій між відділеннями заводу та системами керування.

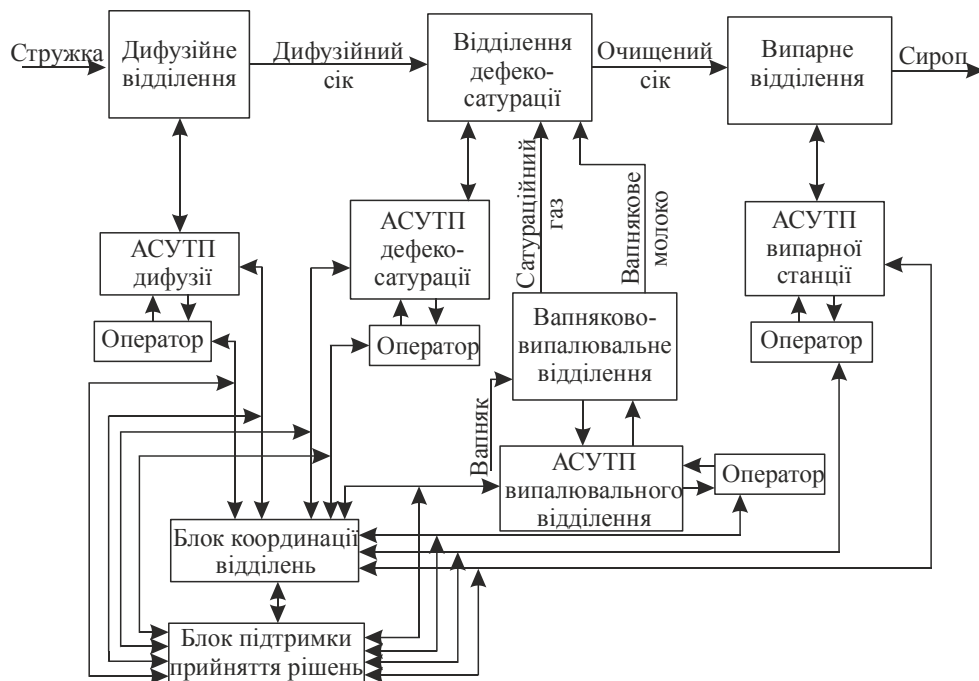


Рис. 4. Структура вдосконаленої системи управління

Висновки

Отже, система керування повинна бути адаптована до змін цілей, наборів і точності значень параметрів, особливо при зміні режимів роботи однієї ділянки та при вплив її на роботу інших. Для системи керування необхідно використовувати сучасні підходи при моделювання технологічного процесу та формуванні управляючих діянь. Запропонована система розширеного керування ділянками цукрового заводу характеризується додатковими модулями, які забезпечують координацію роботи суміжних відділень цукрового заводу, а також підтримку прийняття рішень оператором у складних ситуаціях.

Література

1. The role of semantic models in smarter industrial operations: Introductory [Електронний ресурс] / T.Hanis, D.Noller // developerWorks®. — 2011, 2012. — Режим доступу: <http://www.ibm.com/developerworks/library/x-ind-semanticmodels/x-ind-semanticmodels-pdf.pdf>.
2. Sharing data for production scheduling using the ISA-95 standard [Електронний ресурс] / I.Harjunkski, R. Bauer // Frontiers in Energy Research. — 2014. — 2:44. — Режим доступу: <http://dx.doi.org/10.3389/fenrg.2014.00044> (21.10.2014).
3. Richard L. Shell. and Ernest L.Hall. Handbook of industrial automation. Marcel Dekker, Inc. — New York, NY 10016, 2000. — P. 202—214.

4. Аналіз невимірюваних параметрів на рівні розподіленого керування для автоматизованої системи, об'єктів і комплексів харчової промисловості / В.М. Сідлецький, І.В. Ельперін, В.В. Полупан // Наукові праці Національного університету харчових технологій. — 2016. — Том 22, № 3. — С. 7—15.

5. Системний аналіз складних систем управління: Навч. посіб. / А.П. Ладанюк, Я.В. Смітюх, Л.О. Власенко та ін. — Київ: НУХТ, 2013. — 274 с.

СТРУКТУРА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ РАСШИРЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ КООРДИНАЦИИ СМЕЖНЫХ СТАНЦИЙ САХАРНОГО ЗАВОДА

В.В. Полупан, В.М. Сидлецкий

Национальный университет пищевых технологий

В статье описан подход к разработке структуры системы расширенного управления участками сахарного завода, который характеризуется дополнительными модулями, обеспечивающими координацию работы смежных отделений сахарного завода и поддержку принятия решений оператором в сложных ситуациях. Задачей такой системы является предоставление помощи специалистам в процессе подготовки и выбора рациональных решений в сложных ситуациях, возникающих при функционировании АСУ реального времени, на основе знаний, полученных специалистами-экспертами и обработанных вычислительными средствами, а также для прогнозирования взаимодействий и согласования взаимодействий между отделениями завода и системами управления.

Ключевые слова: сахарный завод, АСУТП, координация, система поддержки принятия решений.

MODERN STANDARDS OF INTEGRATED MANAGEMENT AND WAYS OF THEIR IMPLEMENTATION IN UKRAINE

O. Pupena, I. Elperin, R. Mirkevych

National University of Food Technologies

Key words:	ABSTRACT
ISA-95 ISA-88 Manufacturing Operations Management MES RAMI 4.0 Industry 4.0	The article deals with modern international standards for development of integrated automated control systems. The scope of standards in the context of a hierarchical model of enterprise reference model and device RAMI of platform Industry 4.0 is presented. The main essence of the standards is described via the basic descriptive models: product definition, resources, schedules and actual performance of industrial activity. The authors presented the product definition by hierarchical presentation of products at various levels of management. Much attention is given to describe the equipment, which is the logical chain to all the standards. The article shows the hierarchy of planning ERP-MES(MOM)-SCADA (in terms of standard ISA-95), which traced the decomposition of common production plans of enterprises for specific works at PCS. The authors consider the appointment of actual production performance at MES/MOM based KPI. A general circuit diagram of the relationship of activities and information flows between the functions of generalized picture are shown operating on a level of MES/ MOM.
Article history: Received 03.11.2016 Received in revised form 12.12.2016 Accepted 25.12.2016	
Corresponding author: O. Pupena E-mail: pupena_san@ukr.net	

СУЧАСНІ СТАНДАРТИ ІНТЕГРОВАНОГО КЕРУВАННЯ І ШЛЯХИ ЇХ ВПРОВАДЖЕННЯ В УКРАЇНІ

О.М. Пупена, І.В. Ельперін, Р.М. Міркевич

Національний університет харчових технологій

У статті розглянуто сучасні міжнародні стандарти з розробки інтегрованих автоматизованих систем керування. Визначено сферу дії стандартів у контексті ієрархічної моделі підприємства, а також еталонної моделі пристроїв RAMI платформи Industry 4.0. Суть стандартів визначено через призму основних описових моделей: означення продукту, ресурсів, планів-графіків і фактичних показників виробничої діяльності. Означення продукту передбачає ієрархічне представлення продуктів на різних рівнях керування. Велику увагу приділено опису такого типу ресурсів, як обладнання, що є сполучною ланкою для всіх наведених стандартів. В ієрархії планування ERP-MES(MOM)-SCADA (з точки зору стандарту ISA-95) прослідковується декомпозиція загальних виробничих планів підприємства до конкретних робіт на рівні АСКТП. Проаналізовано призначення фактичних показників

виробництва на рівні MES/MOM з урахуванням KPI. Через загальні схеми діаграми взаємозв'язку діяльностей та інформаційні потоки між функціями показано узагальнену картину операційної діяльності підприємства на рівні MES/MOM.

Ключові слова: ISA-95, ISA-88, Manufacturing Operations Management, MES, RAMI 4.0, Industry 4.0.

Постановка проблеми. Світова практика впровадження інтегрованих систем керування виробничим підприємством показує значне підвищення ефективності їх роботи за рахунок зменшення енергозатрат, виробничих простоїв, оптимального розподілу матеріальних та енергетичних потоків, використання прихованих резервів, підвищення спостережності та керованості об'єкта [1]. За останні 20 років людство значно просунулось у напрямку від часткової автоматизації технологічних та організаційно-економічних процесів до створення єдиного інтегрованого виробництва, впроваджуючи кращі практики в керуванні та новітні інформаційні технології. Результати цієї діяльності були затверджені у ряді міжнародних стандартів, а також описані у великій кількості статей і посібників [2—5]. Значний внесок у цю діяльність зробила некомерційна організація MESA International [5], членами якої є виробники спеціалізованого програмного забезпечення, інтегратори, промисловці і фізичні особи, у тому числі з академічної спільноти. Найбільш передові стандарти затвердила організація ISA (International Society of Automation) [6].

У той же час із тотальним впровадженням Інтернету в усі сфери діяльності життя людини, розвитком і здешевленням інтелектуальних засобів автоматизації та мобільних пристроїв принципи побудови автоматизованих систем усе більше направлені на розподілене керування з можливістю використання глобальних ресурсів через Інтернет, тому на сьогодні у світі домінують дві сучасні взаємодоповнюючі парадигми побудови систем керування — це IIoT (Industrial Internet of Things, США, Америка, деякі країни Європи та Азії) та Industry 4.0 (Німеччина, Європа) [7—9]. IIoT направлений на автоматизацію всіх сфер діяльності з використанням технологій та інфраструктури Internet, тоді як Industry 4.0 більше зосереджений на автоматизації промислового виробництва. Разом з тим, ключові перевірені стандарти інтегрованого керування є складовою цих парадигм, хоч і дещо адаптовані під нові вимоги.

Наявність світових стандартів говорить про успішне використання затверджених у них технологій, а наявність навчальних посібників — існуючих шкіл підготовки кадрів. На противагу такій великій кількості освітнього контенту в усьому світі в Україні, на жаль, ці стандарти, сучасні парадигми та викладені в них технології практично невідомі фахівцям. Інформація про ці стандарти та їх призначення тільки недавнім часом почали з'являтися в українських ресурсах [10], а їх висвітлення практично відсутнє. Це означає, що до розробки інтегрованих автоматизованих систем керування навіть на вітчизняних виробничих підприємствах українські системні інтегратори практично не готові.

Окремої уваги потребує питання руху українського виробництва, інтеграторів, IT та інженерії в ногу з Industry 4.0. Наразі існує проблема навіть в

освітленні та донесенні до всіх стейкхолдерів систем керування самої потреби в такому русі та навіть факту існування Industry 4.0.

Ми вважаємо, що для успішного розвитку галузі автоматизації в Україні необхідний аналіз і популяризація світових стандартів з подальшою їх локалізацією. Дана стаття призначена для ознайомлення з основними ідеями, закладеними в стандартах ISA-88, ISA-95, ISA-106, які є найбільш вагомими для розробки інтегрованих автоматизованих систем керування, та їх місця в платформі Industry 4.0.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Серед найбільш важливих стандартів, в яких систематизовані кращі практики розробки інтегрованих автоматизованих систем керування (IACK), можна назвати американські стандарти ANSI/ISA-95 [11—13] та аналогічні їм світові аналоги ІЕС-62264 (МЕК-62264), які, по суті, є адаптацію ISA. В Україні, на жаль, ці стандарти не прийняті на державному рівні, незважаючи на спрямованість на гармонізацію українських стандартів з європейськими. Для порівняння: у Росії ці стандарти прийняті та локалізовані як ГОСТ Р МЭК 62264-1 [14] у 2010 р., що робить їх використання пріоритетними над корпоративними.

Для розуміння місця сучасних стандартів в інтегрованому виробництві слід розглядати їх в контексті функціональної структури, яка наведена в першій частині ISA-95 (див. рис. 1). Згідно з цим стандартом, ієрархія керування виробничим підприємством описується чотирма рівнями: 1-й і 2-й рівень призначений для керування технологічним процесом, 3-й – керування виробничими операціями (MOM), 4-й — для бізнес-планування та логістики. Слід зазначити, що ця функціональна структура інтегрованого виробництва жодним чином не накладає вимоги щодо конкретної реалізації функцій, тобто технічну структуру. Так, наприклад, деякі всесвітньо відомі програмні продукти охоплюють частину функцій з кожного з наведених рівнів, але не реалізують весь перерахований функціонал. З цих же причин в ISA-95 третій рівень прийнято називати MOM (Manufacturing Operations Management) а не MES (Manufacturing Execution System), тому що MOM охоплює більше функцій, ніж це заявлено моделлю MESA. Так, наприклад, MOM включає в себе ряд функцій оперативного керування з обслуговування фізичних активів підприємства, що не передбачається моделлю MES.

Виконання функції 4-го рівня, як правило, охоплюються системами типу ERP (Enterprise Resource Planning). Перша та друга частина стандарту ISA-95, які були затверджені першочергово, якраз призначені для вирішення проблем інтеграції систем ERP та MOM. Тобто вони передбачають опис (модель) представлення даних, якими будуть обмінюватися ці системи. Слід зазначити, що в стандартах відсутні вимоги до внутрішньої структури цих систем і реалізації конкретних функцій. Висуваються вимоги тільки до їх взаємодії (опису даних) на різних рівнях керування, що дасть змогу інтегрувати різні, навіть існуючі реалізації, вносячи певні зміни до їх інтерфейсної частини.

Третя та четверта частина стандарту (ISA-95.03 та ISA-95.04) зосереджується на взаємодії функцій всередині рівня MOM та з 2-м рівнем функціональної

моделі. Певним чином цей стандарт описує модель самих функцій з точки зору взаємодії між ними. Як і в перших частинах, описується тільки структура самих даних, якими обмінюються функції, а не програмний інтерфейс.



Рис. 1. Функціональна ієрархічна структура виробничим підприємством згідно з ISA-95 (MEK 62264)

У сучасних системах керування реалізація першого та другого рівня, згідно з наведеною моделлю, охоплюється автоматизованими системами керування технологічними процесами (АСКТП), на які не поширюється стандарт. Однак у даній моделі вже прийнято розділення між типами виробничих процесів:

1. Batch Control — керування періодичним (порційним, малосерійним) виробництвом.

2. Continuous Control — керування неперервним виробництвом.

3. Discrete Control — керування дискретним виробництвом.

Це розділення зумовлене певними особливостями виробництва, що, як відомо, накладає свій відбиток на особливості керування виробничими процесами. Для інтегрування систем цих рівнів у загальну систему керування виробництвом вони повинні бути попередньо підготовлені. По-перше, керування виробничим підприємством вимагає представлення ресурсів і діяльності цих рівнів у вигляді моделей, які відрізняються для різних типів виробництв. По-друге, алгоритми керування 2-го рівня повинні враховувати необхідність реалізації двосторонньої інтеграції за принципом: вниз — планування, вгору — фактичний стан. Для цього в керуванні періодичним виробництвом (Batch Control) вже довгий час використовується стандарт ISA-88. Адаптація цього стандарту зроблена також і для дискретних виробництв. Для неперервних виробництв теж існують адаптації стандартів ISA-88, однак вже близько десяти років ведуться роботи над стандартом ISA-106, який призначений саме для таких об'єктів. Зараз робота над ISA-106 триває, а

попередні результати висвітлені в технічному звіті (ISA-TR106). У стандартах ISA-88 та ISA-106 закладені правила побудови систем керування технологічними процесами, які передбачають їх інтеграцію в єдину IACK, побудовану згідно зі стандартом ISA-95.

Таким чином, на сьогодні група стандартів ISA охоплює керівну діяльність практично усіх трьох нижніх рівнів ієрархії керування виробничим підприємством [16—21]:

1. ISA 95.01 та ISA 95.02 — моделі даних в обміні між 3-м (MOM) і 4-м (ERP) рівнем.

2. ISA 95.03 та ISA 95.04 — моделі даних в обміні між функціями 3-го рівня (MOM) та частково обміну з 2-м.

3. ISA 95.05 — високорівневий протокол для обміну даними 3-го (MOM) і 4-го (ERP) рівня.

4. ISA 88.01, ISA 88.02, ISA 88.03, ISA 88.04, ISA-88.05 — стандарти для керування періодичним виробництвом.

5. ISA TR88.02 — адаптація стандартів ISA-88 для задач пакування продукції (дискретні процеси).

6. ISA TR88-95.00.01 — технічний звіт про сумісне використання ISA-88 та ISA-95.

7. ISA TR106 — технічний звіт про розробку стандартів керування неперервним виробництвом.

Вище наведені тільки стандарти ISA, хоч більшість з них має аналоги ІЕС(МЕК), які переважно приймаються шляхом простого затвердження оригінальних стандартів ISA. Враховуючи певну інерційність у процесі затвердження європейських аналогів (як правило, більше трьох років), нижче ми зупинимося на огляді тільки оригінальних версій ISA.

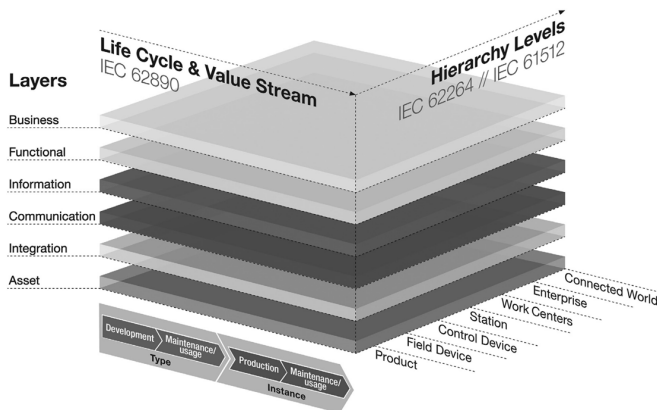


Рис. 2. Еталонна архітектурна модель Industry 4.0 (RAMI 4.0)

Наведені вище стандарти є складовими інших стандартів і парадигм, зокрема Industry 4.0. З ідеями Industry 4.0 (німецькою Industrie 4.0) можна ознайомитися в [22—24]. Так, концепція керування виробництва майбутнього базується на представленні всіх засобів, а також продуктів виробництва в контексті єдиної еталонної архітектурної моделі RAMI 4.0 (рис. 2). У цій

тривимірній моделі одна з осей представляє ієрархічні рівні підприємства, які базуються на моделі обладнання зі стандартів IEC 62264 (ISA-95) та IEC 61512 (ISA-88).

Метою статті є ознайомлення з основними ідеями, закладеними в стандартах ISA-88, ISA-95, ISA-106, які є найбільш вагомими для розробки інтегрованих автоматизованих систем керування, та визначення їх місця в платформі Industry 4.0.

Викладення основних результатів дослідження. Незважаючи на велику кількість англomовного матеріалу, він важкодоступний українським спеціалістам з автоматизації як через специфічну англomовну термінологію, так і через необхідність придбання самих стандартів. Це значно гальмує впровадження сучасних стандартів в Україні. Нижче стисло описано основні ідеї стандартів інтегрованого керування, а також можливі шляхи їх впровадження.

Для можливості аналізу плинного стану виробничого підприємства та керуванням ним його активи та діяльність повинні бути описані набором взаємопов'язаних моделей. Ключовою ідеєю стандартів є означення цих моделей на різних рівнях керування та в різних виробничих областях. Стандарти дають чіткі інструкції щодо представлення виробничих ресурсів підприємства, їх стану, потенціалу та фактичного використання, щодо декомпозиції загальних функцій моніторингу та керування виробничими процесами, щодо планування випуску продукції та гнучкого формування нового типу продукту. Ці рекомендації були неодноразово перевірені на виробництві, тобто є кращими практиками, тому навіть у випадку побудови систем керування без посилання на ці стандарти як нормативні, їх використання дає досить повне представлення категорій, якими можна описати більшість типів виробничих підприємств.

У загальному випадку керування операціями для виготовлення продукції можна описати набором взаємопов'язаних моделей:

- означення продукту, тобто з чого (матеріали), яким чином (необхідні роботи і вимоги до обладнання) виготовити продукт;
- доступні ресурси, тобто що є (матеріали, обладнання, інші ресурси) для виготовлення продукту;
- виробничий план, тобто коли і з якими доступними ресурсами планується виготовлювати продукт;
- фактичні показники виробництва, тобто як проходить виготовлення продукту.

У новій версії стандарту ISA-95 подібні моделі використовуються не тільки для опису керування операціями виготовлення продукції (Production Operations Management), але і для опису таких діяльностей, як керування операціями технічного обслуговування (Maintenance Operations Management), керування операціями забезпечення якості (Quality operations management) та керування операціями матеріально-технічного забезпечення (Inventory operations management). Таке представлення розширює сферу дії стандарту ISA-95 на всі функції рівня MOM промислового підприємства, а не тільки на ті, що стосуються виготовлення продукції. У свою чергу, стандарти ISA-88 та ISA-106 направлені саме на функції виготовлення продукції. Нижче основні ідеї стандартів представлені саме через них.

Означення продукту. Першим розробленим стандартом із наведених вище був ISA-88, саме він заклав дуже важливі фундаментальні принципи керування виробництвом. Мабуть, найбільш новаторською концепцією в ньому стало розділення керівних діяльностей на дві різні категорії: керування технологічним процесом і керування роботою обладнання. Таке розділення надає можливість використовувати одне і те саме обладнання для виробництва різних продуктів, що є принциповим при виготовленні багато-асортиментної продукції за змінного технологічного регламенту (рецептури). Необхідні матеріали (тип, кількість, вимоги), очікувані продукти (кількість, параметри), вимоги до обладнання, вимоги до додаткових ресурсів, потрібні роботи з керування процесом — все це описується в означенні продукту.

У термінах ISA-88 таке означення продукту записується в рецепті (Recipe), а в ISA-95 — в моделі означення виробу (Product definition model). Слід зазначити, що в самому означенні продукту вказується послідовність технологічних операцій, що дозволяє «програмувати» виробничий процес для окремого продукту. Це є принципово новим підходом, що дає змогу виробляти новостворені продукти, не вносячи при цьому зміни в структуру і програму системи керування. Такий підхід вимагає його підтримки на всіх рівнях керування, задіяних в цій функції. У термінах ISA-88 технологічні програми, які записуються в рецепті, оперують технологічними термінами типу «нагріти до 80 °C», «перемішувати протягом 30 хв», і називаються процедурним керуванням (Procedural Control). Програма в рецептах (рецептурне керування) не може виконуватися без обладнання, тому передбачається, що воно буде реалізоване з використанням апаратного керування (Equipment Control), яке реалізоване в системі керування конкретним обладнанням.

У ISA-88 загальне означення продукту для конкретної технологічної ділянки (комірки), що виготовлює партію продукту (Batch), описується майстер рецептом (Master Recipe). Технологічна програма в майстер рецепті може виконуватися на різному обладнанні. Для кожної партії продукту створюється своя копія майстер-рецепту з унікальним ідентифікатором (номером партії), в якій вказується вже конкретне обладнання, що буде задіяне в процесі. Ця копія, яка називається керівним рецептом (Control Recipe), в процесі приготування партії може змінюватися (технологічні параметри, обладнання й технологічна програма). Крім того, керівний рецепт є тим об'єктом, на якому зосереджується вся архівна інформація про проходженню процесу приготування цієї партії продукту, що дозволяє проводити її генеалогію.

У ISA-95 означення продукту описується моделлю означення виробу (Product Definition), яка, у свою чергу, є частковим випадком моделі означення операції (Operation Definition). Нагадаємо, що нова версія стандарту ISA-95 надає універсальній моделі операцій (Operation), оскільки в перелік функцій входять не тільки діяльності з виготовлення продукції, а й технічне обслуговування, організація робіт із забезпечення якості та матеріально-технічного забезпечення. Хоч опис моделей може здатися досить складним (усі моделі в стандартах даються в нотації UML), однак вони описуються за тим же принципом, що і в ISA-88.

Доступні ресурси. Окрім означення продукту, для виготовлення необхідного виробу необхідні ресурси, які згідно зі стандартами також описуються набором моделей. У ISA-88 та ISA-106 окремо виділеними ресурсами є обладнання (Equipment), яке забезпечує вироблення продукції. Усі інші ресурси (необхідні матеріали, енергетичні ресурси, персонал) входять як параметри керування обладнанням. У ISA-95 для всіх типів ресурсів передбачені окремі моделі. Моделі обладнання пересікаються у всіх наведених вище стандартах і є їх «спільним знаменником» (рис. 3).

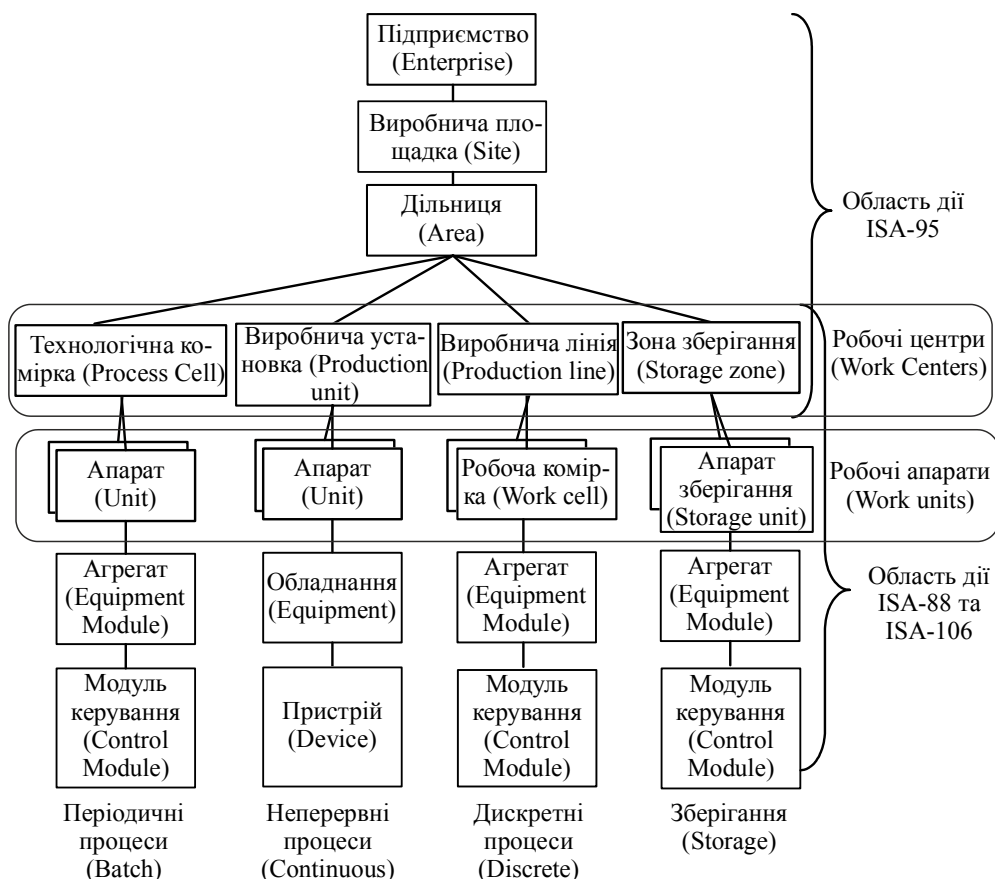


Рис. 3. Загальна модель ієрархії обладнання (фізична модель) для ISA-95 та ISA-88

Стандарт ISA-95 охоплює діяльність верхніх чотирьох рівнів фізичної моделі:

1. Підприємство (Enterprise) — це виробничий комплекс, що відповідає за певну номенклатуру виробів, які випускаються, виробничих площадок, на яких вони випускаються, та способів виробництва. Наприклад, це може бути агропромислове підприємство з декількома цукровими заводами, розташованими в різних місцях.

2. Виробнича площадка (Site) — це група об'єднаних об'єктів, що забезпечують виробництво відповідно до календарного плану. Наприклад, це може бути цукровий завод.

3. Виробнича ділянка (Area) — це група об'єктів в рамках виробничої площадки, що забезпечує виробництво відповідно до виробничої потужності, характеризуються виробничими можливостями. Наприклад, для цукрового заводу це може бути лінія виробництва цукру-піску та ТЕЦ, а для молочного — сирний цех або масло-цех.

4. Робочий центр — це технологічна комірка (Process Cell) для періодичних процесів, виробнича установка (Production Unit) для неперервних чи виробнича лінія (Production Line) для дискретних:

- представлення моделі технологічної комірки описується в ISA-88. Наприклад, для молочного виробництва технологічною коміркою може бути лінія приготування цільно-молочної продукції або її частина;

- представлення моделі виробничої установки описується в технічних звітах ISA-106 [28, 29]. Прикладом виробничої установки для цукрового виробництва є всі відділення з неперервними процесами, в т.ч. тракт подачі і мийки буряку, дифузійне відділення, відділення очистки тощо;

- представлення моделі технологічної лінії для дискретних виробництв може бути описане аналогічно (як в ISA-TR88.00.02) [19]. Це, наприклад, можуть бути складальні лінії виробництва побутової техніки.

Четвертий рівень описується також стандартами ISA-88 або ISA-106 разом з нижчими трьома. Нижні три рівні повністю пов'язані з фізичним обладнанням, над яким проводиться декомпозиція за функціональними ознаками.

Вище написано, що платформа Industry 4.0 також базується на ISA-95/88. Але згідно з RAMI 4.0, модель обладнання має свої розширення (рис. 2). Додатково до основних рівнів доданий рівень «Product» (продукту, виробу) та «Connected World» (під'єднаний світ). Рівень продукту (виробу) передбачає участь у процесах виробництва «розумних виробів». Слід зазначити, що це є принципово новим підходом, який базується на наскрізному супроводженні виробу по його життєвому циклу (на базі IEC 62890), що значно розширює можливості індивідуального замовлення та врахування особливостей конкретного екземпляра (виробу). У такому підприємстві засоби виробництва взаємодіють з «розумними виробами» для додавання до них додаткової цінності з урахуванням їх індивідуальних особливостей. Крім того, це дає змогу легше супроводжувати виріб по всьому життєвому циклі як на етапі виготовлення, так і при його супроводженні. Найбільш актуальною така модель є для дискретних процесів. Окрім нижнього рівня, для використання глобальних ресурсів (даних і сервісів), а також прямої взаємодії підприємства чи виробу з клієнтами та іншими стейкхолдерами, модель RAMI 4.0 передбачає наявність рівня «Connected World» (під'єднаний світ). Це значно розширює можливості систем керування.

Слід зазначити, що модель обладнання не накладає жодних вимог щодо технічної реалізації системи керування. Це може бути класична багаторівнева система, наприклад, PLC-SCADA-MES-ERP, або розподілена система згідно з моделлю Industry4.0, де взаємодія між засобами відбувається безпосередньо. Тому засіб автоматизації може реалізовувати керування обладнанням будь-якого рівня відповідно до цієї моделі.

Моделі ресурсів, описані відповідно до вимог ISA-95, надають можливість зробити запит на доступне на даний момент обладнання, персонал, матеріали

та інші ресурси, які можуть бути задіяні у виробництві на момент запиту або в майбутньому. Враховуючи, що всі моделі взаємозв'язані, ресурс може бути вказаний як посилання (лінк) як в означенні продукту, так і виробничого плану чи фактичних показників виробництва.

Виробничий план. Правила формування виробничих планів не описані в наведених стандартах, тому що це суттєво залежить від об'єкта керування та підходів до організації виробничих процесів. Однак передбачається, що підсистема, яка буде займатися формуванням та керуванням виробничим графіком, оперуватиме описаними в стандартах моделями. Зокрема, вона буде орієнтуватися на необхідний план вироблення продукції, який передається з верхніх рівнів, означення продукту і доступних в потрібний момент ресурсів, які в ньому вказані. Згідно з ISA-95, загальний виробничий план (Production Schedule) з випуску продукції (рис. 4), який означений на рівні організаційно-економічного керування, спускається до функцій детального планування виробництва (Detailed Production Scheduling), які формують робочий план-графік (Work Schedule). Формування проводиться відповідно до означення продуктів, які необхідно виробити, та доступних для цього ресурсів (обладнання, персоналу, матеріалів).

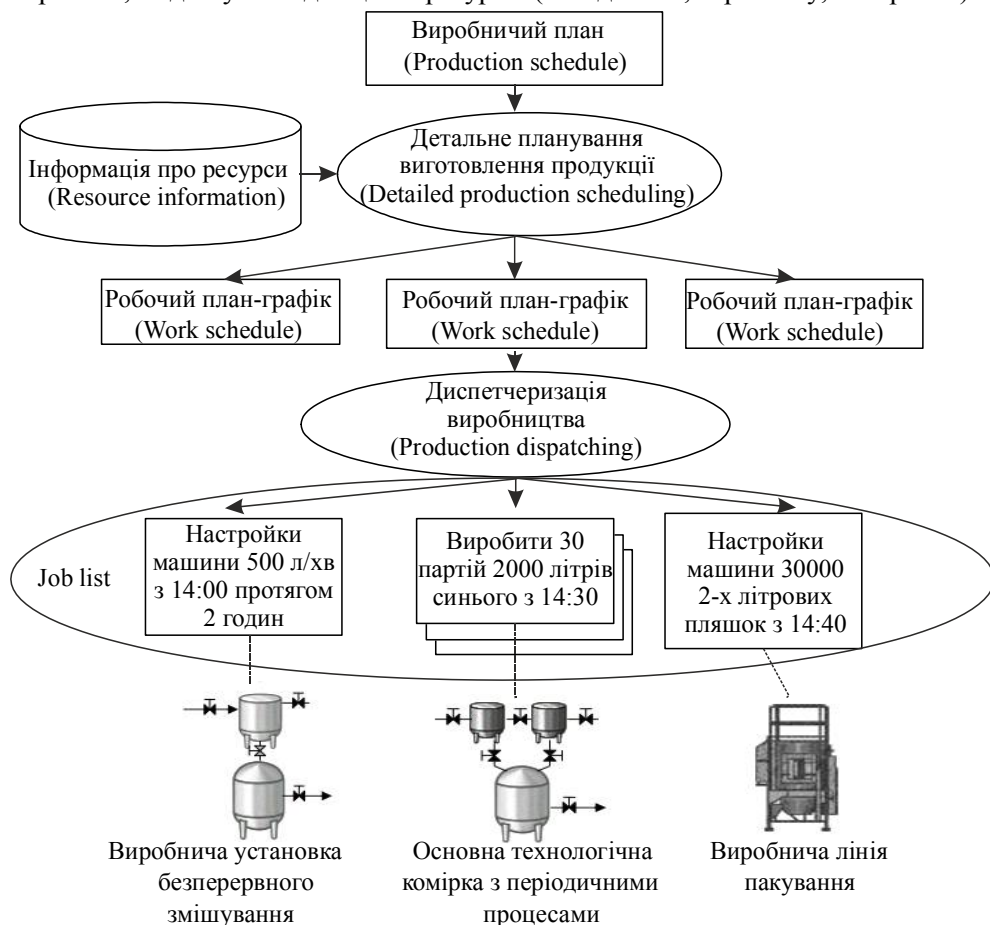


Рис. 4. Ієрархія планування

Згідно з ISA-88, планування та виробничі графіки є одним із видів керівної діяльності, необхідного для керування періодичними процесами. Графік виробництва партій визначає, які апарати в який момент часу будуть використовуватися для вироблення конкретної партії продукту. Розглянемо зв'язок планування через призму всіх рівнів підприємства (рис. 4, 5). Виробничий план (нагадуємо, що виготовлення продукції — один із видів операційної діяльності підприємства) у результаті детального планування (Detailed Scheduling) розподіляється між робочими центрами у вигляді робочих планів-графіків (Work Schedule). Функція диспетчерського керування (Dispatching) в реальному часі формує та відслідковує виконання списку робіт у конкретному робочому центрі (технологічній комірці). Керування та контроль технологічною коміркою виконується відповідно до означення продукту, який згідно з ISA-88 для кожної партії задається керівним рецептом (Control Recipe).

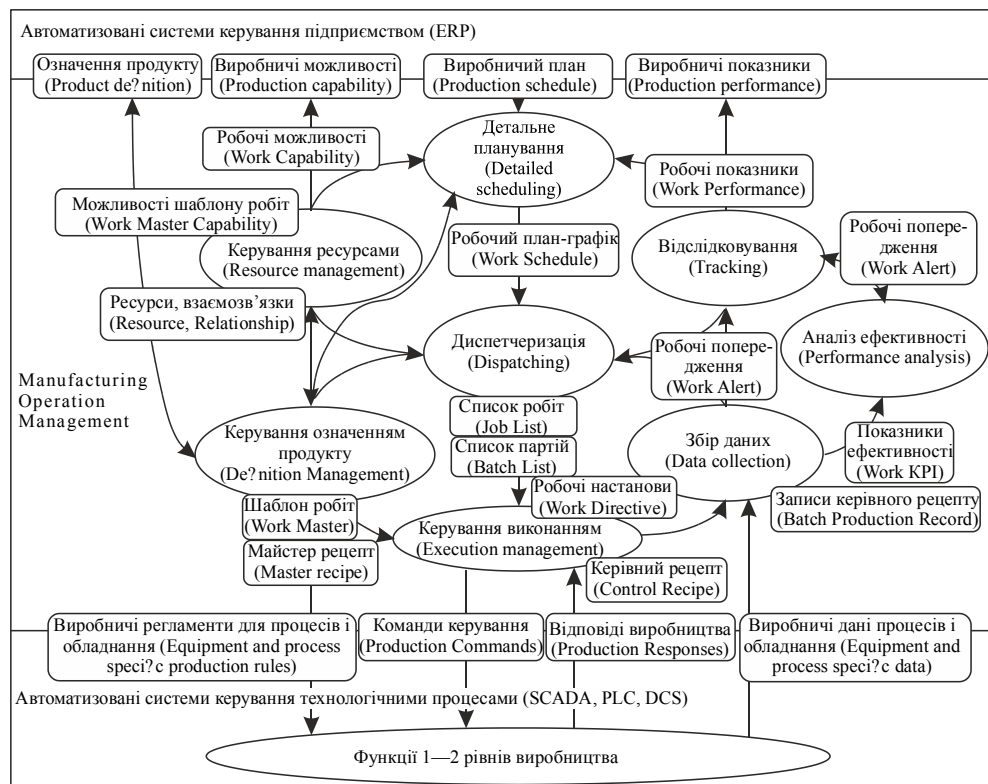


Рис. 5. Інформаційні потоки між функціями рівня MES/MOM та іншими згідно з ISA-95

Слід зауважити, що послідовне «спускання» графіків проводиться тільки після виконання функції планування, яка, у свою чергу, запитує з нижніх рівнів наявні ресурси. Тобто таке рішення приймається в результаті постійного двостороннього обміну між різними рівнями керування. На рис. 5 видно, що організаційно-економічний рівень отримує з MES/MOM інформацію про виробничі можливості (Production Capability). Тут доречно відмітити, що в

ISA-95 є ряд моделей, які об'єднують різні типи інформації (різних ресурсів, діяльності) і називаються сегментами (сегмент процесу, сегмент продукту). Виробничі можливості надаються верхньому рівню через сегмент процесу.

За рис. 5 можна прослідити ієрархію означення продукту: Product Definition (рівень ERP) → Work Master (рівень MES/MOM) → Master Recipe (рівень АСКТП). Враховуючи, що означення продукту передбачає можливість його використання на різному обладнанні, для конкретного лоту і партії будуть створені унікальні їх екземпляри, відповідно Work-Directive та Work Recipe, які також будуть слугувати маркером для історії створення партії та лоту. Слід у черговий раз відмітити, що партія в даному випадку є частиною лоту.

При детальному вивченні стандартів можна помітити, що функції планування, які означені в ISA-88 та ISA-95, можуть не тільки бути частиною єдиної ієрархії, але й перекриватися. Це саме стосується і інших керівних функцій. Наприклад, згідно зі стандартом ISA-88 партія продукту (Batch) може бути як повністю готовим до споживання продуктом, так і напів-продуктом (проміжним продуктом виробництва). Насамперед це пов'язано з універсальністю моделі, адже MES/MOM функціонує не тільки в періодичному виробництві. Крім того, не всі системи керування реалізують повний функціонал ISA-88. З іншого боку, програмні продукти, що реалізують весь функціонал ISA-88, можуть використовуватися на рівні MES/MOM.

Фактичні показники виробництва. Для контролю за виконанням виробничих графіків, аналізу виробництва в реальному часі та ретроспективних даних система повинна надавати інформацію про стан об'єкта та процесів. Для опису цієї інформації означено ряд моделей та їх комбінацій. Розглянемо шляхи слідування інформаційних потоків з фактичними показниками виробництва через ієрархію керування (рис. 5). Дані про стан процесу надходять на рівень MES/MOM через функцію збору даних (Data Collection). Окрім збору і надання іншим функціям даних режиму реального часу, ця функція також забезпечує архівування даних з подальшим їх переглядом. Зібрані дані в «сирому» вигляді не потрібні виробничому персоналу MES/MOM та ERP, тому їх попередньо необхідно обробити до максимальної інформативності. Тобто зібрані дані, як правило, перевіряються на знаходження в межах нормативних значень (Alert), а також відображаються у вигляді ключових показників ефективності (KPI). Останні можуть також проходити перевірку для формування в реальному часі попереджень (Work Alert) про недостатньо хорошу роботу апарата, процесу чи машини через функції аналізу ефективності (Performance Analysis). Враховуючи велике значення методики розрахунку KPI на виробництві, недавно був розроблений стандарт ISO 22400, друга частина якого описує типовий набір показників ефективності та алгоритми їх розрахунку [30].

Важливою функцією MES/MOM є відслідковування (Tracking), або генеалогія, що дає змогу визначати історію виготовлення конкретної партії чи лоту продукту: задані та дійсні технологічні параметри, при яких готувався продукт; якісні та кількісні показники сировини й продукту; означення продукту тощо. Згідно з ISA-88, для періодичних процесів відслідковування забез-

печується шляхом аналізу архівних записів керівного рецепту (Batch Production Record) за його номером партії.

Підсумовуючи опис основних ідей керування виробничим підприємством, наведемо їх функціонал. ISA-95 — це стандарти, в яких описується організація функціонування інтегрованого виробництва та наведені моделі даних, якими обмінюються функціональні частини інтегрованої системи керування підприємством. Тобто ISA-95 — це стандарт інтеграції ERP з MOM, MOM з АСКТП та складових MES/MOM між собою. ISA-88 — це стандарти керування періодичними виробництвами. Так як і в ISA-95, в основі стандарту лежать принципи означення продукту (в рецепті) та означення ресурсу-обладнання, на якому виконується цей рецепт. Усі інші ресурси (персонал, матеріали, енергоресурси) входять в рецепт як формули або додаткові вимоги. У рецепт, окрім формули, входить також процедура — технологічна програма виготовлення продукту. Рецепт, в тому числі і його процедура, створюється технологами без необхідності внесення змін у систему керування. Це і є основною перевагою систем, побудованих на базі ISA-88, над класичними монолітними системами керування, адже нові продукти можна створювати без модернізації існуючої системи. Зауважимо, що в параметри рецепту можуть входити також аварійні межі й алгоритми обробки винятків, які залежать від технології продукту. Кожна партія (batch) виготовленого продукту керується на базі унікального керівного рецепту, який зберігається в архіві разом зі значенням технологічних змінних процесу, при яких готувалася ця партія. Такий підхід надає можливість відслідковувати історію виготовлення партії за її ідентифікатором. Це ще один великий здобуток даного стандарту. Технології стандарту полегшують планування, що робить гнучкішим використання обладнання.

Висновки

Як уже зазначалося на початку, незважаючи на перевірену в усьому світі ефективність вказаних стандартів, в Україні вони мало відомі. Опитування в соціальних мережах, спілкування з виробничим персоналом підприємств, представниками світових брендів та інтеграторами в Україні, представниками ВНЗ підтвердило дуже слабку обізнаність навіть в існуванні даних стандартів, не кажучи про їх призначення, а тим більше використання. Це свідчить про незадовільний стан підготовки українських інженерів з автоматизації на рівні виробництва.

Ряд виробництв з домінуючими періодичними процесами (наприклад, фармацевтичне) на рівні обов'язкових для впровадження міжнародних стандартів вимагають використання ISA-88. Відсутність функціоналу, що базується на рецептурному керуванні, не дає змоги створювати нові рецепти та проводити генеалогію продукту, не кажучи вже про оперативне планування. Трапляються випадки використання інженерами з автоматизації інструментальних засобів на базі ISA-88 без знання принципів їх функціонування. У більшості ж випадків необхідний функціонал розробляється самостійно, що значно затягує життєвий цикл проекту та ускладнює інтеграцію підсистем в єдину систему.

З основними концепціями і результатами використання стандарту ISA-106 можна ознайомитися в Інтернеті. Як відмічав Дейв Емерсон [31], автоматизація процедур запуску, зупинки, виходу з нештатної ситуації та переходу на інший продукт надають можливість забезпечити технологічний процес від аварій і зменшити часові й енергетичні втрати. Такі підходи не є новими, зокрема вони відомі спільноті науковців як підсистеми підтримки прийняття рішень. Однак більшість систем керування неперервним виробництвом традиційно базуються виключно на регулюванні.

Щодо стандартів ISA-95, то їх застосування в інструментальних засобах MES/MOM та ERP не є тотальним. Велика частина реалізацій не опираються на даний стандарт, а зроблені з використанням власних підходів і важко інтегруються з іншими підсистемами. Разом з тим, у всіх цих реалізаціях часто зустрічаються загальні вади, причиною яких є непередбаченість нижніх рівнів керування. Так, наприклад, неодноразово спостерігалася відсутність контролю достовірності даних, що унеможлиблює надійний розрахунок балансів та KPI на верхніх рівнях [4]. Це потребує розробки нижніх рівнів керування підприємством з урахуванням їх інтеграції в інтегровану систему керування. Єдина модель обладнання ISA-95, ISA-88, ISA-106 дає змогу розробляти програмне забезпечення, скажімо, для ПЛК та SCADA/HMI, з урахуванням їх подальшої інтеграції з верхнім рівнем.

На нашу думку, варто розглядати дані стандарти як посібники з автоматизації виробництва та інтеграції систем керування, тому що вони чітко означають необхідні функції та їх взаємодію. У стандартах наведені принципи декомпозиції й агрегування класичних функцій інтегрованих систем керування, що вже є великим досягненням. Одна з базових концепцій стандартів — це стан-орієнтовне керування, яке є складовою всіх компонентів моделі, що неодноразово довела свої переваги, що повинно стати аргументом для взяття на озброєння цього підходу усіма програмістами АСКТП. На сьогодні немає жодного аналогу наведеному вище стандартам, у них зібрані результати роботи передових організацій у галузі автоматизації та наукових досліджень.

Популяризація та навіть розвиток цих стандартів в Україні вкрай необхідні. Українська системна інтеграція володіє сильними і перспективними кадрами, однак тривале орієнтування на східні ринки зробило їм медвежу послугу. Ми закликаємо до спільного просунення та розвитку стандартів через професійні спільноти та через створення україномовних посібників і статей просвітницького характеру. На кафедрі ІАСУ Національного університету харчових технологій (НУХТ) вже зроблені перші кроки в цьому напрямку. Протягом останніх двох років групою викладачів і магістрантів проводяться роботи з перекладу стандартів, технічних звітів і статей. Для популяризації даних стандартів створений сайт, на якому викладаються всі найважливіші матеріали [32]. Крім того, НУХТ є членом асоціації промислових підприємств автоматизації України (АППАУ), яка популяризує ці стандарти по всій Україні. Зараз АППАУ координує роботи зі створення технічного комітету в ДСТУ, мета якого розробка, переклад і затвердження сучасних стандартів у галузі автоматизації, у якому стандарт ISA-88/95, а також суміжні з ним є пріоритетними. Окрім просвітницької діяльності, на

кафедрі ІАСУ у рамках НДР розробляється програмний каркас для ПЛК, який повністю сумісний з наведеними вище стандартами. Ми пропонуємо вищим навчальним закладам та іншим фахівцям у цій галузі приєднатися до цього руху, що значно просуне Україну в розвитку.

Література

1. Пупена О.М. Інтеграція систем управління / О.М. Пупена, І.В. Ельперін. // Харчова і переробна промисловість. — 2005. — № 1. — С. 9—11.
2. Manufacturing Execution Systems — MES / [J. Kletti, B. Berres, O. Brauckmann та ін.]. — New York: Springer Berlin Heidelberg, 2007. — 276 p.
3. Meyer H. Manufacturing Execution Systems. Optimal Design, Planning, and Deployment / H. Meyer, F. Fuchs, K. Thiel, 2009. — 248 p.
4. Ицкович Э.Л. Методы комплексной автоматизации производства предприятий технологических отраслей: Построение MES Контроль и учет работы производства Сведение материального баланса Календарное планирование Оперативное управление Обслуживание и ремонт оборудования Авто / Э.Л. Ицкович. — Москва: КРАСАНД, 2013. — 232 с.
5. MESA International [Електронний ресурс]. — Режим доступу: www.mesa.org.
6. International Society of Automation [Електронний ресурс]. — Режим доступу: www.isa.org.
7. Так что же такое Industry 4.0? [Електронний ресурс] // Фонд МСБ. — 2015. — Режим доступу: http://www.msbfond.ru/about/treatment/tak_chto_zhe_takoe_industry_4_0/.
8. Індустрія 4.0 — що це таке та навіщо це Україні [Електронний ресурс] // АППАУ. — 2015. — Режим доступу: http://appau.org.ua/ru/INDUSTRY_4-0%E2%80%93cho-ce-ta-navicho-ce-Ukraini.
9. INDUSTRY 4.0 — як уникнути плутанини та об'єднатись [Електронний ресурс] // АППАУ. — 2015. — Режим доступу: http://appau.org.ua/INDUSTRY_4-0%E2%80%93yak-unyknuti-plutanyny_ta-obednatys.
10. Підбір статей по інтеграції від асоціації промислових підприємств автоматизації України (АППАУ) [Електронний ресурс] // АППАУ. — 2015. — Режим доступу: www.appau.org.ua/search?text=ISA+95.
11. Enterprise/Control System Integration. Part 1: Models and Terminology: ANSI/ISA-95.00.01-2010. — [Чинний від 2010-01-01]. — USA: International Society of Automation, 2010. — P. 164.
12. Enterprise/Control System Integration. Part 2: Object Model Attributes: ANSI/ISA - 95.00.02-2010. — [Чинний від 2010-01-01]. — USA: International Society of Automation, 2010. — P. 152.
13. Enterprise/Control System Integration. Part 3: Activity Models of Manufacturing Operations Management: ANSI/ISA-95.00.03-2013. — [Чинний від 2013-01-01]. — USA: International Society of Automation, 2013. — P. 182.
14. Интеграция систем управления предприятием. Часть 1: Модели и терминология: ГОСТ Р МЭК 62264-1 2010. — [Чинний від 2010-01-01]. — Москва: Межгосударственным советом по стандартизации, 2010. — С. 163.
15. Batch Control. Part 1: Models and Terminology: ANSI/ISA-88.00.02-2001. — [Чинний від 2010-01-01]. — USA: International Society of Automation, 2010. — P. 164.
16. Batch Control. Part 2: Data Structures and Guidelines for Languages: ANSI/ISA-88.00.01-2001. — [Чинний від 2001-01-01]. — USA: International Society of Automation, 2001 — P. 174.
17. Batch Control. Part 3: General and Site Recipe Models and Representation: ANSI/ISA-88.00.03-2003. — [Чинний від 2003-01-01]. — USA: International Society of Automation, 2003. — P. 152.
18. Batch Control. Part 4: Batch Production Records: ANSI/ISA-88.00.04-2006. — [Чинний від 2006-01-01]. — USA: International Society of Automation, 2006. — P. 131.

19. Batch Control. Technical report: Machine and Unit States: An Implementation Example of ISA-88: ISA-TR88.00.02-2006. — [Чинний від 2006-01-01]. — USA: International Society of Automation, 2006. — P. 150.
20. Batch Control. Technical report: Batch Control and Enterprise-Control System Integration, Using ISA-88 and ISA-95 Together: ISA TR 88/95.00.01-2010. — [Чинний від 2010-01-01]. — USA: International Society of Automation, 2010. — P. 184.
21. Batch Control. Part 1: Models and Terminology: IEC 61512-1:1997. — [Чинний від 1997-01-01]. — International electrotechnical commission, 1997. — P. 164.
22. Implementation Strategy Industrie4.0 (Report on the results of the Industrie 4.0 Platform 01.2016) [Електронний ресурс] // ZVEI. — 2016. — Режим доступу: <http://www.zvei.org/Publikationen/Implementation-Strategy-Industrie-40-ENG.pdf>.
23. Reference Architecture Model Industrie 4.0 (RAMI4.0 Status Report 07.2015) [Електронний ресурс] // ZVEI. — 2016. — Режим доступу: <http://www.zvei.org/Publikationen/GMA-Status-Report-RAMI-40-July-2015.pdf>.
24. Structure of the Administration Shell Continuation of the Development of the Reference Model for the Industrie 4.0 Component (2016) [Електронний ресурс] // ZVEI. — 2016. — Режим доступу: http://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/EN/Downloads/Publikation/structure-of-the-administration-shell.pdf?__blob=publicationFile&v=5.
25. Козлецов А.П. Применение стандарта ISA 95 для интеграции информационных систем на производственном предприятии / А.П. Козлецов, И.С. Решетников. // Автоматизация в промышленности. — 2010. — С. 9—16.
26. Batch Control Using the ANSI/ISA-88 Standard. // BR&L Consulting. — 2007. — P. 4
27. Dwiggin R. ISA-88 Batch Control: Standard Summary & Update ISA Tarheel Capital / Randy Dwiggin. — 2010. — P. 6
28. Williams T. ISA-106 and Automated Procedures / Tom Williams. // Honeywell Users Group Americas. — 2012. — P. 4
29. ISA-106: Using Procedural Automation to Improve Operational Efficiency. // 2013 ISA Water / Wastewater and Automatic Controls Symposium. — 2013. — P. 14
30. Automation systems and integration. Key performance indicators (KPIs) for manufacturing operations management. Part 2: Definitions and descriptions: ISO 22400-2:2014. — [Чинний від 2014-01-01]. — International Organization for Standardization. 2014. — P. 80.
31. Емерсон Д. ISA-106 і важливість автоматизації ручних процедур [Електронний ресурс] / Дейв Емерсон. — Режим доступу: <https://sites.google.com/site/isa88inua/isa-106/-isa-106-i-vazlivist-avtomatizacii-rucnih-procedur>.
32. ISA-88/95/106 в Україні [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://sites.google.com/site/isa88inua/home>.

СОВРЕМЕННЫЕ СТАНДАРТЫ ИНТЕГРИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ И ПУТИ ИХ ВНЕДРЕНИЯ В УКРАИНЕ

О.Н. Пупена, И.В. Эльперин, Р.Н. Миркевич

Национальный университет пищевых технологий

В статье рассмотрены современные международные стандарты по разработке интегрированных автоматизированных систем управления. Показана область действия стандартов в контексте иерархической модели предприятия, а также эталонной модели устройств RAMI платформы Industry 4.0. Суть стандартов описывается через призму основных описательных моделей: определение продукта, ресурсов, планов-графиков и фактических показателей производственной деятельности. Определение продукта предполагает иерархическое представление продуктов на разных уровнях управления.

Большое внимание уделяется описанию такого типа ресурсов, как оборудование, которое является связным звеном для всех приведенных стандартов. Показывается иерархия планирования ERP-MES(MOM)-SCADA (с точки зрения стандарта ISA-95), в которой прослеживается декомпозиция общих производственных планов предприятия в конкретные работы на уровне АСУТП. Рассматривается назначение фактических показателей производства на уровне MES/MOM с учетом KPI. Через общие схемы диаграммы взаимосвязи деятельности и информационные потоки между функциями показана обобщенная картина операционной деятельности предприятия на уровне MES/MOM.

Ключевые слова: ISA-95, ISA-88, Manufacturing Operations Management, MES, RAMI 4.0, Industry 4.0.

RECOMBINANT ORGANISMS AS PROSPECTIVE PRODUCERS OF TUMOR NECROSIS FACTOR

O. Skrotska, E. Kharchenko

National University of Food Technologies

Key words: <i>Tumor necrosis factor</i> <i>Recombinant producers</i> <i>Biosynthesis</i>	ABSTRACT
Article history: Received 07.11.2016 Received in revised form 20.11.2016 Accepted 08.12.2016	
Corresponding author: O. Skrotska E-mail: npnuht@ukr.net	The features of biosynthesis of tumor necrosis factor (TNF) by genetically modified cells of prokaryotes are considered in the article. Using of recombinant <i>Escherichia coli</i> cell has the following advantages: the high yield of TNF (from 70 to 1600 mg/L), inability of contamination of the desired product by the infectious agents and the relative economic profitability. The article also describes the advantages and disadvantages of eukaryotic expression systems of recombinant TNF. The examples of recombinant yeast (<i>Saccharomyces cerevisiae</i> , <i>Pichia pastoris</i>) are presented and the features of vector constructions containing the genes of synthesis of cytokine are characterized. The data concerning the possibility of using plants as the producers of recombinant cytokines is considered. Among the advantages of their use is the absence of tight control and strict adherence to specific conditions compared with the cultivation of bacterial producers and other cells as the desired product is synthesized and accumulated during the growth of a plant which can be grown in the field or in the greenhouse environment.

РЕКОМБІНАНТНІ ОРГАНІЗМИ ЯК ПЕРСПЕКТИВНІ ПРОДУЦЕНТИ ФАКТОРА НЕКРОЗУ ПУХЛИН

О.І. Скроцька, Є.В. Харченко

Національний університет харчових технологій

У статті розглянуто особливості біосинтезу фактора некрозу пухлин (ФНП) генетично модифікованими клітинами прокаріот. Використання рекомбінантних клітин *Escherichia coli* характеризується такими перевагами: високий вихід ФНП (від 70 до 1600 мг/л), відсутність контамінації цільового продукту інфекційними агентами та відносна економічна рентабельність. Охарактеризовано переваги та недоліки використання еукаріотичних систем експресії рекомбінантного ФНП. Наведено приклади рекомбінантних дріжджів (*Saccharomyces cerevisiae*, *Pichia pastoris*) і дані щодо можливості використання рослин як продуцентів рекомбінантних цитокінів. Визначено особливості векторної конструкції, що містить гени синтезу вказаного цитокіну. Серед переваг їх використання — відсутність жорсткого контролю і суворого дотримання специфічних умов, як при культивуванні

бактеріальних продуцентів та інших клітин, оскільки цільовий продукт синтезується і накопичується при рості цілої рослини, яку можна вирощувати в польових або тепличних умовах.

Ключові слова: фактор некрозу пухлин, рекомбінантні продуценти, біосинтез.

Постановка проблеми. Фактор некрозу пухлин (ФНП) — багатофункціональний прозапальний цитокін, який синтезується в основному моноцитами та макрофагами і є важливим низькомолекулярним медіатором міжклітинних взаємодій. ФНП впливає на ліпідний метаболізм, коагуляцію, стійкість до інсуліну, функціонування ендотелію, стимулює продукцію інтерлейкінів (ІЛ-1, ІЛ-6, ІЛ-8), інтерферону-гамма, активує лейкоцити, а також є одним із важливих чинників захисту від внутрішньоклітинних паразитів і вірусів. ФНП чинить цитотоксичну дію на ракові клітини шляхом активації процесу апоптозу, кисневої дії і впливу окису азоту. Біологічні ефекти ФНП залежать від його концентрації. У низьких концентраціях ФНП діє в місці індукції як пара- і автокринний регулятор автоімунних реакцій у відповідь на травму або інфекцію. У середніх концентраціях — стимулює утворення фагоцитів, підсилює згортання крові, чинить пірогенний ефект, знижує апетит, а також є важливим фактором розвитку кахексії при таких захворюваннях, як туберкульоз і рак [1].

За даними ВООЗ до 2020 р. онкопатологія вийде на перше місце серед захворювань. Нині ж рак є причиною понад 15% всіх смертей, тому актуальним є отримання недорогих і доступних протипухлинних препаратів, зокрема ФНП за допомогою рекомбінантних організмів. Перше покоління очищених препаратів ФНП отримували завдяки культивуванню імунокомпетентних клітин тварин або людини, стимулюючи утворення ФНП бактеріальними ліпополісахаридами (ЛПС). Отримання ФНП таким способом мало ряд недоліків: довготривалість процесу, низький вихід ФНП, наявність у донорському матеріалі (кров) алергенів та інфекційних агентів, тому наступним поколінням препаратів ФНП стали модифіковані білки, отримані на основі рекомбінантних продуцентів — бактерій, дріжджів, перещеплюваних клітин ссавців, клітин рослин.

Мета статті: здійснити огляд літературних джерел з метою аналізу рекомбінантних продуцентів фактора некрозу пухлин, навести їх переваги та недоліки, а також визначити особливості культивування та здатність до продукції ФНП.

Виклад основних результатів дослідження. Серед прокаріотичних клітин найбільш поширеними продуцентами рекомбінантного фактора некрозу пухлин є різні штами *Escherichia coli* (табл. 1). До переваг їх використання можна віднести велику різноманітність комерційно доступних експресійних векторів; відносну дешевизну компонентів поживних середовищ для вирощування прокаріотів; високу швидкість росту клітин; внутрішньоклітинну експресію ФНП; накопичення ФНП у тільцях-включеннях, що спрощує його виділення й очищення; відсутність контамінації цільового продукту вірусами або пріонами; високий вихід цільового продукту (50—

1700 мг/л). До недоліків використання прокаріотів як рекомбінантних продуцентів ФНП слід віднести такі: контамінація бактеріальними ендотоксинами, що вимагає спеціальних способів очищення і контролю цільового продукту; відсутність посттрансляційних модифікацій рекомбінантного білка (глікозилювання, алкілювання тощо); необхідність ренатурації *in vitro* цільового продукту.

Таблиця 1. Синтез фактора некрозу пухлини рекомбінантними штамами Escherichia coli

Продуцент	Тривалість культивування (год) / концентрація ФНП (мг/л)	Особливості процесу біосинтезу
<i>E. coli</i> BL21(DE3) рTNF5	8 / 70	Температура культивування 30 °С, індуктор синтезу ФНП (ізопропіл β-D-1-тіогалактопіранозид, IPTG) вноситься на початку процесу культивування [2].
<i>E. coli</i> BL21(DE3) hTNF-pET11	11,5 / 50	Температура культивування 37 °С, індукція ФНП викликається внесенням IPTG після досягнення необхідного значення оптичної щільності культуральної рідини [3].
<i>E. coli</i> C600/pBV-TRAIL	30 / 1600	Температура культивування 30 °С, для індукції синтезу ФНП через 26 год культивування температуру підвищують до 42 °С. Застосовується двоступеневе підживлення іонами цинку (Zn^{2+}): на початку процесу культивування вноситься джерело іонів Zn^{2+} в концентрації 0,5 г/л, а з 26 год біосинтезу вноситься ще 2,3 г/л джерела катіонів Zn^{2+} [4].

Нині створено ряд прокаріотичних рекомбінантних продуцентів ФНП. Зокрема, *E. coli* BL21(DE3) рTNF5, що характеризується виходом ФНП у кількості 70 мг/л за невеликої тривалості культивування. Слід відмітити, що для продукції ФНП необхідне внесення індуктора IPTG на початку процесу біосинтезу [2].

Наступним продуцентом ФНП є *E. coli* BL21(DE3) hTNF-pET11, процес культивування клітин даного штаму характеризується збільшеною тривалістю і на 20 мг/л нижчим виходом ФНП. Серед особливостей процесу біосинтезу є внесення індуктора ФНП IPTG після досягнення значення оптичної щільності культуральної рідини 0,7—0,8 при довжині хвилі 600 нм [3].

Порівняно з попередніми штамами, отримання ФНП з використанням *E. coli* C600/pBV-TRAIL має суттєві відмінності: збільшений до 30 год процес культивування, високий вихід ФНП — 1600 мг/л. Особливістю ведення біотехнологічного процесу є різка зміна температурного режиму — із 30 °С на початку біосинтезу до 42 °С через 26 год культивування. Даний технологічний прийом необхідний для індукції синтезу цільового білка. Також застосовується двоступеневе підживлення іонами цинку: на початку процесу культивування вносять джерело іонів Zn^{2+} ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) у концентрації 0,5 г/л, а на 26 год ферментації разом з підвищенням температури додатково вносять 2,3 г/л джерела катіонів цинку і культивування продовжують ще 4 год. Додавання в культуральну рідину іонів цинку збільшує продукцію

ФНП, що можна пояснити специфічним впливом іонів металів на його білкову структуру, а саме: стабілізацію гомотримерної форми ФНП [4].

Серед еукаріотичних продуцентів ФНП виділяють перещеплювані культури клітин ссавців, дріжджі, а також клітини рослин. Вказані системи експресії рекомбінантного ФНП мають свої переваги і недоліки [5] (табл. 2).

Таблиця 2. Переваги і недоліки використання еукаріотичних систем експресії рекомбінантного фактора некрозу пухлин

Продуцент	Переваги	Недоліки
Перещеплювані культури клітин ссавців	Експресія цільового ФНП в нативній формі, що дозволяє використовувати перещеплювані культури клітин ссавців для продукції білків, які піддаються складним посттрансляційним модифікаціям.	Високоартісні компоненти поживного середовища; низька швидкість росту клітин; тривалий час ферментації; низький вихід цільового продукту; можливість контамінації вірусами; використання ліній трансформованих клітин є проблематичним з міркувань онкологічної безпеки.
Дріжджі	Посттрансляційна модифікація ФНП; відсутність контамінації цільового продукту ендотоксинами; позаклітинна секреція цільового продукту.	Гіперглікозилювання ФНП, що призводить до зміни біологічних властивостей цільового продукту; можливий протеоліз цільового білка.
Клітини рослин	Посттрансляційна модифікація цільового продукту; низька собівартість ФНП.	Відмінності систем глікозилювання рослинних і тваринних клітин.

На сьогодні створені генетично-модифіковані еукаріотичні системи експресії рекомбінантного ФНП, серед яких дріжджі (*Pichia pastoris*, *Saccharomyces cerevisiae*), перещеплювані клітини ссавців (клітини яєчника китайського хом'яка — CHO), рослини (*Solanum tuberosum* — картопля) (табл. 3).

Таблиця 3. Приклади еукаріотів — продуцентів рекомбінантного фактора некрозу пухлин

Продуцент	Особливості векторної конструкції	Рівень експресії ФНП
1	2	3
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> 2805	Плазмідні вектори, що використовувалися для модифікації, підтримувались і клонувались у клітинах <i>E. coli</i> HB101. Для ампліфікації ДНК, що кодує рекомбінантний білок ФНП, використовували ЛПС-індуковані мононуклеарні клітини периферійної крові. Вектор знаходиться під контролем конститутивного гліцеральдегід-3-фосфат-дегідрогеназного (GPD) промотору [6].	2,5 мг/л
<i>Pichia pastoris</i> GTS115/ pTNF6-5	Штам дріжджів трансформували плазмідним вектором pTNF6-2. Ділянку ДНК, що кодує ФНП отримали з клітин лінії HL-60. Плазмідні вектори, що використовувалися для модифікації підтримувались і розмножувались у бактеріальних клітинах <i>E. coli</i> HB101. Експресія гетерологічних генів <i>P. pastoris</i> регулюється промотором <i>AOX1</i> [7].	32%

1	2	3
CHO-Inflix 20/5	Серед широковідомих промоторів, що використовуються для трансформації клітин CHO — CMV Promoter (промотор надранніх білків цитомегаловірусу) [8].	1,66 мг/мл
<i>Solanum tuberosum</i>	Два типи касет експресії (частин ДНК-вектора), що містять 35S промотор вірусу мозаїки кольорової капусти (CaMV) і трансляційний енхансер вірусу тютюнової мозаїки (BTM) [9].	15 мкг/г

Розглядаючи перспективні продуценти рекомбінантних цитокінів, варто відзначити рослини, що можуть виступати привабливою альтернативою традиційним культурам клітин ссавців або модельних систем мікробних клітин. За допомогою технології рекомбінантних ДНК можливе створення рослин для отримання великих кількостей лікарських засобів і промислових білків, що мають високу якість при відносно низьких затратах [10]. Зокрема, фактор некрозу пухлин було експресовано в генетично модифікованій картоплі. При конструюванні вектора використовували два типи касет експресії (частин ДНК-вектора), що містили як промотор 35S CaMV і трансляційний енхансер з BTM. Одна з касет мала додаткові послідовності, що кодують N-кінцевий сигнальний пептид і C-кінцевий пептид, що відповідає за внутрішньоклітинне сортування білків ендоплазматичним ретикуломом. В обох випадках вихід ФНП складав близько 15 мкг біологічно активного білка на 1 г рослинної тканини [9].

Рекомбінантне виробництво трансгенними рослинами терапевтичних білків, таких як цитокіни (фактор некрозу пухлин), може бути вирішенням проблеми задоволення попиту на терапевтичні білки для терапії таких серйозних захворювань, як рак. Оскільки клінічне використання фракціонованих молекул плазми крові, з якої отримують ФНП, обмежене високими затратами виробництва, використання рекомбінантних біофармацевтичних препаратів, отриманих з рослин, є реальною альтернативою для забезпечення ефективного лікування. До переваг використання продуцентів-рослин також варто віднести зручність процесу виробництва та відсутність жорсткого контролю і суворого дотримання специфічних умов, як при культивуванні бактеріальних продуцентів та інших клітин, оскільки цільовий продукт синтезується і накопичується при рості цілої рослини, яку можна вирощувати в польових або тепличних умовах.

Висновки

Розглянувши особливості про- та еукаріотичних продуцентів фактора некрозу пухлин, слід зазначити, що всі вони мають як переваги, так і недоліки. Використання рекомбінантних клітин *E. coli* характеризується такими перевагами: високий вихід ФНП, відсутність контамінації цільового продукту інфекційними агентами та відносна економічна рентабельність. Але відсутність посттрансляційних модифікацій рекомбінантного білка та необхідність ренатурації *in vitro* цільового продукту ускладнює процес виробництва.

Серед еукаріотичних систем експресії людського ФНП перспективним є використання клітин дріжджів і рослин. Хоча наведені щодо них дані показують, що вказані системи мають як переваги, так і недоліки, тому, враховуючи щорічне зростання кількості онкологічних захворювань, створення нових продуцентів фактора некрозу пухлин є актуальним завданням сучасних біотехнологій.

Література

1. Шмелёв В.А. РЕФНОТ. Рекомбинантный вектор некроза опухолей — Тимозин- α 1, препарат с низкой системной токсичностью для лечения онкологических заболеваний / В.А. Шмелёв. — Москва : РефноТ-Фарм, 2010. — 92 с.
2. Новый штамм-продуцент фактора некроза опухолей человека на основе *E. coli* / Е.В. Суровцева, Т.В. Кузнецова, В.Г. Хоменкова и др. // Биоорган. хим. — 2005. — № 5. — С. 474—481.
3. Curnis F. Production and Characterization of Recombinant Human and Murine TNF / F. Curnis, A. Corti // Methods in Molec. Med. — 2004 — Vol. 98. — P. 9—22.
4. Improvement of expression level and bioactivity of tumor necrosis factor-related apoptosis-inducing ligand (Apo2L/TRAIL) by a novel zinc ion feeding strategy / Ai-You Sun, Ya-Ling Shen, Ji-Cheng Yin et al. // Biotech. Lett. — 2006. — Vol. 28. — P. 1215—1219.
5. Серёгин С.В. Оптимизация конструкций рекомбинантных ДНК для получения иммунобиологических препаратов. Дис док. биол. наук. / С.В. Серёгин. — 2015. — 311 с.
6. Expression of a functional human tumor necrosis factor- α (hTNF- α) in yeast *Saccharomyces cerevisiae* / Seung-Moon Park, Ae-Young Mo, Yong-Suk Jang et al. // Biotechnol. and Biopr. Eng. — 2004. — Vol. 9. — P. 292—296.
7. Kotikanyadan S. Pat. USA № 5.002.876 East production of human tumor necrosis factor / S. Kotikanyadan, F. Motohiro, H. Rica. — Publ. 26.03.1991.
8. Пат. № 2556816 РФ. Штамм клеток яичников китайского хомячка — продуцент рекомбинантного антитела против фактора некроза опухоли альфа человека / А.В. Петров, А.С. Симбирцев, А.М. Ищенко и др. — Оpubл. 20.01.2013.
9. Expression of biologically active human tumor necrosis factor—alpha in trans-genic potato plant / K. Ohya, N. Itchoda, K. Ohashi, M. Onuma et al. // J. Interferon Cytokine Res. — 2002. — Vol. 22. — P. 371—378.
10. Скроцька О.І. Досягнення сучасних біотехнологій для отримання модифікованих продуктів харчування / О.І. Скроцька, О.В. Мор'єва // Харчова промисловість. — 2015. — № 18. — С. 94—100.

РЕКОМБИНАНТНЫЕ ОРГАНИЗМЫ КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПРОДУЦЕНТЫ ФАКТОРА НЕКРОЗА ОПУХОЛИ

О.И. Скроцкая, Е.В. Харченко

Национальный университет пищевых технологий

*В статье рассмотрены особенности биосинтеза фактора некроза опухоли (ФНО) генетически модифицированными клетками прокариот. Использование рекомбинантных клеток *Escherichia coli* характеризуется следующими преимуществами: высокий выход ФНО (от 70 до 1600 мг/л), отсутствие контаминации целевого продукта инфекционными агентами и относительная экономическая рентабельность. Охарактеризованы преимущества и*

недостатки использования эукариотических систем экспрессии рекомбинантного ФНО. Приведены примеры рекомбинантных дрожжей (*Saccharomyces cerevisiae*, *Pichia pastoris*) и данные о возможности использования растений в качестве продуцентов рекомбинантных цитокинов. Определены особенности векторной конструкции, содержащей гены синтеза указанного цитокина. Среди преимуществ их использования — отсутствие жесткого контроля и строгого соблюдения специфических условий, как при культивировании бактериальных продуцентов и других клеток, поскольку целевой продукт синтезируется и накапливается при росте целого растения, которое можно выращивать в полевых или тепличных условиях.

Ключевые слова: фактор некроза опухоли, рекомбинантные продуценты, биосинтез.

УДК: 616.12.331.1

POSSIBILITIES OF APPLICATION OF SIDEROPHORES

O. Shkut, O. Karpov

National University of Food Technologies

Key words:	ABSTRACT
<i>Antibiotic transport</i> <i>Sideromycines</i> <i>Iron binding</i> <i>Antisocial drugs</i> <i>Antibiotic conjugates</i>	
Article history: Received 12.11.2016 Received in revised form 24.11.2016 Accepted 23.12.2016	
Corresponding author: O. Shkut E-mail: npnuht@ukr.net	The article presents the characteristics of bacterial siderophore description and common mechanism of their action. The classification is presented depending on the functional groups that play a role in iron binding: siderophores based on peptides, siderophores based on aminoalkanes, siderophores based on citric acid and mixed siderophores. The new strategy for using siderophores as a tool in the sociomicrobiological studies to inhibit microbial communities by breaking communication links in the community is described. The research in which gallium was used to inhibit colonies of <i>Pseudomonas aeruginosa</i> is presented. The characteristics of known natural sideromycines are outlined, as well as their role in medicine and bioremediation. The implementation problems of syntetic sideromycines are described.

МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СІДЕРОФОРІВ

О.О. Шкут, О.В. Карпов

Національний університет харчових технологій

У статті наведено характеристику бактеріальних сідерофорів (опис і загальний механізм дії). Представлено класифікацію залежно від функціональних груп, що відіграють роль у зв'язуванні заліза: сідерофори на основі пептидів, сідерофори на основі аміноалканів, сідерофори на основі лимонної кислоти та змішані сідерофори. Розглянуто нову стратегію використання сідерофорів як інструмента в соціомікробіологічних дослідженнях для пригнічення розвитку мікробних спільнот шляхом розриву комунікативних зв'язків у спільноті. Описано дослід з використанням галію для пригнічення розвитку колоній *Pseudomonas aeruginosa*. Охарактеризовано відомі природні сідероміцини, визначено їх роль у медицині та біоремедіації, а також проблеми впровадження синтетичних сідероміцинів.

Ключові слова: транспорт антибіотиків, сідероміцини, зв'язування заліза, антисоціальні препарати, кон'юганти антибіотиків.

Постановка проблеми. Проблема стійкості до протимікробних препаратів та ординарність нових антибіотиків, що з'являються, сприяє дослідженню нових терапевтичних стратегій у боротьбі з мікробними інфекціями. Одним із можливих підходів до вирішення даної проблеми є використання

кон'югантів сідерофор-антибіотик. Комплекси сідерофорів розпізнаються спеціальними рецепторами зовнішньої мембрани й активно транспортуються в бактеріальну клітину, що забезпечує цілеспрямовану доставку антибіотика.

Термін «*сідерофор*» утворений поєднанням стародавніх грецьких слів «*sidero*» — залізо і «*phore*» — перевізник, тобто «перевізник заліза». Іншими словами, це низькомолекулярні (<10 кДа) залізовв'язуючі сполуки, що виробляються бактеріями в умовах дефіциту заліза з метою підвищення ступеня його засвоєння [1].

Залізо є четвертим найпоширенішим елементом у земній корі. Незважаючи на те, що воно являє собою досить м'який метал у його чистому, рівноважному стані, мікроструктура заліза може бути змінена для надання матеріалу певних властивостей. Завдяки цій пластичності залізо і його сплави широко використовуються в інженерії та промисловості. У біології залізо відіграє ключову роль, що полягає в унікальній координації окислювально-відновних процесів організму [2]. Залізо бере участь у багатьох метаболічних процесах, в тому числі в циклі трикарбонових кислот, ланцюгах перенесення електронів, окисному фосфорилуванні і фотосинтезі. Також залізо регулює біосинтез порфіринів, вітамінів, антибіотиків, токсинів, цитохромів, пігментів, ароматичних сполук і синтез нуклеїнових кислот [3]. Останнім часом було помічено, що залізо відіграє важливу роль у формуванні мікробної біоплівки шляхом регуляції поверхневої перистальтики мікроорганізму [4].

Залізо може існувати у двох станах: Fe (III) і Fe (II). Гомеостаз заліза може бути досягнутий різними способами. Загальною стратегією для бактерій, грибів і навіть деяких рослин є секреція малих молекул, які координують тривалентне залізо з високою специфічністю. Після того, як такий носій заліза або сідерофор зв'язує іон металу, отриманий комплекс активно транспортується назад у клітину, де зв'язаний іон вивільняється за допомогою відновних або гідролітичних механізмів [2].

Важливою перевагою цих природних хелатуючих агентів є вищий ступінь біодеградабельності, ніж у синтетичних комплексоутворюючих сполук [5].

Існуючі літературні дані підтверджують, що при дефіциті заліза сідерофори можуть продукувати як грамнегативні бактерії, так і грампозитивні. Як правило, таку здатність проявляє більшість аеробних і факультативних анаеробних бактерій [1]. Відомо, що факультативно аеробні бактерії *Pseudomonas stutzeri* CCUG 36651 можуть виробляти сідерофори як в аеробних, так і в анаеробних умовах, але сідерофори, вироблені в аеробних умовах, істотно відрізняються від вироблених в анаеробних умовах. У грамнегативних бактерій комплекс сідерофор-залізо переходить у клітину через клітинну мембрану з використанням специфічних рецепторів, а у випадку грампозитивних бактерій у транспорті беруть участь сідерофорзв'язуючі білки, пермеази і АТФази [6].

Залежно від функціональних груп, що відіграють роль у зв'язуванні заліза, виділяють чотири основні групи сідерофорів: сідерофори на основі пептидів, сідерофори на основі ди- і триаміноалканів, сідерофори на основі лимонної кислоти та змішані сідерофори [7].

Пептидні сідерофори. До складу пептидних сідерофорів зазвичай входять як D-, так і L-амінокислоти, що виступають як ліганди. На обох кінцях пептидного ланцюга розташовуються циклічні молекули, що запобігають їх деградації протеолітичними ферментами. До таких молекул відносяться, наприклад, непротеїногенні амінокислоти (гомосерин, орнітин, 2,4-діамінобутанова кислота). Лізин і орнітин можуть входити в склад основного ланцюга через взаємодію з ϵ/δ -аміногрупами. Також амінокислоти можуть піддаватися модифікації для формування сайтів зв'язування. Найбільш відомим представником пептидних сідерофорів є піовердин і його похідні, які продукуються різними штамми сімейства *Pseudomonas*.

Сідерофори гідроксаматового типу продукують як бактерії, так і представники мікроскопічних грибів. Наприклад, екзохелін (був ідентифікований у штамів *Mycobacterium*) і віцибактин — макроциклічний трилактон (*Rhizobium*). Найбільша різноманітність сідерофорів даного типу була виявлена у грибних штамів.

Сідерофори катехолового типу являють собою циклічний трилактон N-2,3-дигідроксibenзоіл-L-серин (ДГБ-Ser) і його похідні. Представниками даного типу сідерофорів є ентеробактини (ентерохеліни), які продукуються представниками ентеробактерій (*Salmonella*, *E.coli*); корінебактин або бацилобактин, ітоєва кислота (*Corynebacterium glutamicum*, *Bacillus subtilis*); хрізобактин (*Erwinia*, *Serratia marcescens*).

Ліпопептидні сідерофори містять у складі залишки 3-гідрокси жирних кислот і путресцин, блокуючий C-термінальний кінець ланцюга. Сідерофори даного типу були ідентифіковані у представників роду *Burkholderia* (орнібактин) і *Nocardia* (нокобактин, формобактин, амамістатини). Група амфіфільних сідерофорів була ізольована у штамів морських бактерій *Marinobacter* (марінібактин), *Halomonas* (аквахелін) і *Vibrio spp.* (амфібактин) [7; 3].

Сідерофори на основі ди-і триаміноалканів. Дана група, також як і пептидні, ділиться на два підтипи: катехолові або на основі гідроксамової кислоти.

Амінокислотою всіх сідерофорів катехолового типу, як, наприклад, протохеліну, азотохеліну (біс-ДГБ-Lys) і амінохеліну (моно-ДГБ кадаверин) є L-лізин, пов'язаний з ДГБ. У разі зв'язування ДГБ з серином або треоніном, відбувається циклізація в ході взаємодії гідроксильної групи з карбонільною, що веде до формування оксазолінового кільця.

До другого підтипу відносяться сідерофори путребактин (*Shewanella putrefaciens*), алкалігін (*Alcaligenes denitrificans*) і десферриферріоксаміни, які продукуються актиноміцетами [7; 3].

Сідерофори на основі лимонної кислоти. Сідерофори на основі лимонної кислоти включають в себе сполуки, в яких скелетом молекули є лимонна кислота, яка через карбоксильну групу пов'язана, наприклад, з 1,3-діамінопропаном або аміногрупою лізину (шизокінін, артробактин, аеробактин). Якщо несучою конструкцією сідерофору є 2-оксоглутарова кислота, тоді її карбоксильна група з'єднується з аміногрупами оксопролінових структур [7; 3].

Змішані сідерофори. До групи змішаних сідерофорів віднесені сполуки, утворені в результаті конденсації продуктів саліцилової кислоти з цистеїном, що призводить до утворення триазолінового кільця. Типовим представником

даних сідерофорів є піохелін, що продукується *Pseudomonas aeruginosa* та *Burkholderia cepacia* [7; 3].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз літературних даних [1—10] свідчить, що останнім часом сідерофори привертають до себе увагу дослідників не тільки з точки зору їх вкладу в забезпечення бактерій залізом, але і як молекули, які можна використовувати як «троянського коня» для доставки антимікробних препаратів всередину бактеріальної клітини та для розриву комунікативних зв'язків у мікробних спільнотах.

Метою дослідження є характеристика сідерофорів як інструмента широкого застосування у медицині та біоремедіації.

Виклад основних результатів дослідження. Бактерії утворюють колонії, в рамках яких взаємодіють одна з одною заради загального блага. Використання соціомікробіологічних поглядів на мікробне співтовариство дасть змогу по-новому підійти до боротьби з патогенами: замість того щоб знищувати окремі бактерії, використовуючи традиційні антибіотики, можна впливати на все мікробне співтовариство. Багато видів бактерій використовують для виживання стратегію спільних дій, і соціомікробіологи шукають способи руйнування їх спільнот, розриваючи, наприклад, комунікативні зв'язки між членами спільноти або блокуючи процеси спільного використання поживних речовин.

Наприклад, *Pseudomonas aeruginosa* діють спільно при використанні необхідних для життя речовин. Вони не можуть рости за відсутності заліза, яке в тілі людини знаходиться в основному в складі гемоглобіну та інших комплексів. Щоб виділити його звідти, бактерії секретують сідерофори. Такий процес надзвичайно кооперативний, оскільки кожен сідерофор, який поглинається членом бактеріальної колонії, виробляється одним із мільйонів інших.

У цьому випадку сідерофори можна назвати суспільним продуктом, на відміну від продукту приватного, що використовується лише бактеріальними клітинами, які його виробили. «Суспільний продукт» — одна з ілюстрацій «дарвінського парадоксу». У теорії природний відбір повинен елімінувати його. Мутанти, які самі його не виробляють, можуть використовувати плоди праці своїх побратимів, отримуючи таким чином переваги. Завдяки цьому вони повинні були б розмножуватися швидше, ніж колоніальні бактерії, і витісняли б останніх. Але в популяції *P. aeruginosa* домінують члени колонії, а не індивідуалісти.

У дослідженнях, проведених в Единбурзькому університеті в 2007 р., було виявлено, що *Pseudomonas* не секретують сідерофори безперервно, а викидають їх одноразово, потім ці молекули використовуються багаторазово. Бактерія абсорбує залізовмісний сідерофор, відщепляє атом заліза і вивільняє сідерофор в навколишнє середовище, де він знову приєднує атом заліза і постачає його в іншу бактеріальну клітину. Завдяки цьому колонія не витрачає зайву енергію, що надає їй переваги перед бактеріями-індивідуалістами.

На основі отриманих даних вчені припустили, що знайдена лікарська речовина, мішенню якої є сідерофори. В такому випадку в бактеріальному співтоваристві виникне дефіцит заліза. Якщо ж у якійсь одній клітині

з'явиться мутація, що забезпечує захист її сідерофорів від даного препарату, то сама клітина не отримує жодних переваг, оскільки всі бактерії віддають свої сідерофори в загальний пул. Коли якась бактерія поглинає залізовмісний сідерофор, він майже завжди не її власний. Таким чином, мутанти не можуть відтворювати таких же мутантів.

Далі було проведено ряд досліджень, у яких галій використали як лікувальну речовину, що створює дефіцит заліза, адже відомо, що *Pseudomonas* виробляють сідерофори, що захоплюють галій так само активно, як і залізо (рис). У результаті дослідів було показано, що за наявності галію досліджувані колонії гинуть і резистентність у них не утворюється [8].

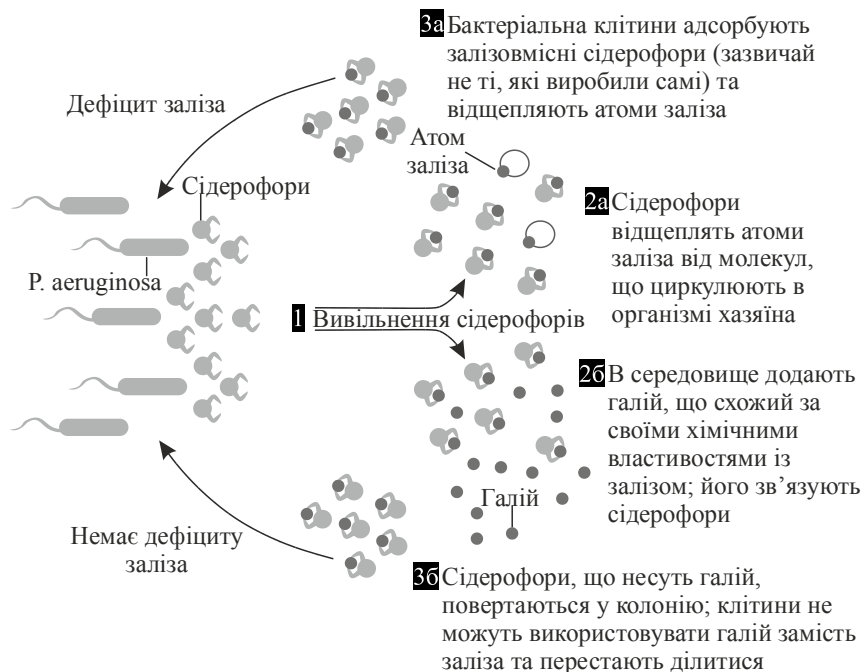


Рис. Ілюстрація створення дефіциту «соціального продукту»

Як видно із вищенаведених даних, останнім часом сідерофори привертають до себе увагу дослідників не тільки з точки зору їх вкладу в забезпечення бактерій залізом, але і як молекули, які можна використовувати як «троянського коня» для доставки антимікробних препаратів всередину бактеріальної клітини [7].

Сідероміцини — це антибіотичні кон'югати, в яких активний центр ковалентно пов'язаний з сідерофорним фрагментом. Термін «сідероміцин» був введений Захнером в 1960 р. хоча відкриття першого елемента цього класу з'єднань відбулось у 1947 р., коли Рейнольдс і його колеги виділили антибактеріальну сполуку під назвою гризеїн зі штаму *Streptomyces griseus*. Пізніше з'ясувалося, що гризеїн був структурно ідентичний до сідероміцину під назвою албоміцин, виділеного із *Actinomyces subsp. tropicus*. Експлуатуючи природні системи транспорту, характерні для сідерофорів, сідероміцини

отримують доступ до бактеріальних клітин. Під час надходження в організм антибіотик, як правило, відщеплюється від сідерофорного фрагмента за допомогою гідролізу складного ефіру або амідного зв'язку в лінкерних регіонах. У випадку із салміцином вивільнення лікарського засобу відбувається за допомогою внутрішньомолекулярної циклізації процесу після вивільнення заліза. Незалежно від залученого механізму стадія розщеплення має вирішальне значення для активації антибіотика. «Смарт-системи» доставки сідероміцинів можуть значно знизити лімітуючу концентрацію аналізованого антибіотика. Ця вигідна властивість, а також можливість обійти бактеріальну резистентність у зв'язку з посиленням поглинання антибіотика, надихнула дослідників на синтетичний дизайн нових сідерофорів на основі антибіотиків. Для цього використовується дві основні стратегії: заміна антибіотика в природному сідероміцині або, як альтернатива, дизайн і хімічний синтез сідероміциму *de novo* [2].

Однак створення та використання сідероміцинів як ліків ще далеко від використання, головним чином через відсутність кореляції між результатами отриманими *in vivo* та *in vitro*. До того ж із величезного числа синтезованих і випробуваних кон'югатів сідерофорів далеко не всі виявили потенціал лікувальних засобів через втрату антибіотичної активності приєднаного залишку, тому ця тема, як і раніше, актуальна і викликає великий інтерес у наукового співтовариства [9].

У сучасній медицині знайшли широке застосування природні мікробні сідерофори, як, наприклад, дефероксамін, що продукується *Streptomyces pilosu*, та синтетичні (циклопірокс, деферіпрон, деферасірокс) як хелатуючі агенти при лікуванні хворих таласемією. Крім того, сідерофори, зокрема дефероксамін, довели свою ефективність у лікуванні хворих на розсіяний склероз. Синтетичний сідерофор деферасірокс показав обнадійливі результати в лікуванні ряду онкологічних захворювань. Токсикологічні дослідження даних сідерофорів виявили їх антимікробну активність відносно патогенних мікроорганізмів *Plasmodium*, *Pseudomonas* і *Staphylococcus*.

Сідерофори циклопірокс і деферіпрон використовують у хелаторній терапії, також було доведено, що дані сполуки мають сильну антибактеріальну і протигрибкову активність *in vitro*. Циклопірокс має помірну антифунгіцидну активність щодо патогенного *Aspergillus fumigatus* і дає синергічний ефект з іншими корисними антифунгіцидними препаратами. Деферіпрон використовується для лікування грибових захворювань, викликаних *Rhizopus oryzae*, якими часто страждають хворі неконтрольованим цукровим діабетом з кетоасидозом [7].

Майже половина всіх білків, виявлених у природі, класифікуються як металопротейни. Ці білки беруть участь в ряді різноманітних біологічних реакцій, і їх дерегуляція часто асоціюється з настанням захворювань, таких як рак, запалення, гіпертонія, бактеріальні та вірусні інфекції. Металеві центри металопротейнів служать як кофактори і, в цілому, мають фундаментальні каталітичні функції. Це означає, що метал, який зв'язує групи, діє за загальними принципами інгібіторів. Структурна різноманітність сідерофорів разом з їх різними ступенями специфічності до Fe^{3+} роблять ці натуральні продукти

перспективними кандидатами для ідентифікації та розробки нових препаратів, орієнтованих на металопротеїни [2].

За останніми даними, у світі простежується критична нестача лікарських речовин для боротьби з трьома класами грамнегатичних бактерій: *Escherichia coli* та *Klebsiella spp.* з розширеним спектром цефалоспоринової стійкості, *Pseudomonas aeruginosa* з множинною лікарською стійкістю та *Acinetobacter spp.* із стійкістю до карбапенемів. Штами *Escherichia coli* та *Klebsiella pneumoniae*, що отримали стійкість до цефалоспоринів розширеного спектра становлять загрозу в усіх частинах світу. Основний механізм лактамної стійкості цих двох організмів полягає у виділенні розширеного спектра лактамаз, що належать до Амблер класу А; але й інші ферменти, такі як клас В металолактамази, клас С цефалоспоринази і клас D оксацелінази, також можуть відігравати певну роль у стійкості мікроорганізму. Крім того, відомо, що *E. coli* та *K. pneumoniae* можуть здобувати зміни в зовнішніх мембранних білках, які призводять до обмеження проникнення антибіотиків (наприклад, шляхом мутації або делеції поринів) або прискорення їх розпаду. З огляду на це було виявлено, що монобактами, такі як азтреонам і карумонам, та сульфактами, такі як тігемонам, мають великий потенціал для боротьби з грамнегативними бактеріями. Вони проявляють високу активність відносно ізолятів ентеробактерій та помірну щодо *P. aeruginosa*. Крім того, моноциклічні лактами мають високу стійкість до гідролізу металолактамазами класу В і є потужними інгібіторами лактамаз класу С. На основі цих досліджень було створено сульфактам BAL30072, у який введено дигідропіридонову залізов'язуючу групу (сідерофорний залишок). Отримана речовина активна відносно 70% штамів групи *Enterobacteriaceae*, що були протестовані, в тому числі штами з цефалоспориназами класу А, класу В і класу D. Також BAL30072 особливо активний щодо *Acinetobacter spp.*, *Burkholderia spp.* та *Stenotrophomonas maltophilia*. Дана речовина виявилася найактивнішим лактамом проти *P. aeruginosa* з множинною лікарською стійкістю [10].

Сідерофори мають великий потенціал для біоремедіації забруднених екосистем. Вони можуть допомогти у видаленні важких металів із забруднених районів, у посиленні здатності мікробів до біодеградації забруднень ґрунту, або вони можуть бути використані як агенти біоконтролю. Також можливі інші перспективні сфери застосування (відновлення рідкоземельних елементів для використання у високотехнологічних галузях, фотоелектрична і вітрова енергія, а також модифікації поверхні) [2].

Сідерофори здатні формувати комплекси з іншими металами, що є безперечною перевагою для мікроорганізмів, адаптованих до екстремальних умов. Екстремальні екологічні ніші широко розповсюджені в навколишньому середовищі. Характеризуються такі місцеперебування постійно низькою концентрацією поживних речовин і високим вмістом токсичних сполук природного або антропогенного походження, і є непридатними для росту рослин. Особливо екстремальною нішею для живих організмів є нафтозабруднені території й акваторії, які характеризуються низьким вмістом кисню, дефіцитом заліза, високим вмістом вуглеводнів, важких металів і

радіонуклеотидів. Однак мікроорганізми виявилися більш пристосованими до таких стресових умов. Морський штам нафтодеструктор *Marinobacter hydrocarbonoclasticus* продукує сідерофор-петробактин, структура якого являє собою дві молекули катехолу, з'єднані α -гідроксикислотою. Морський штам *Vibrio spp.*, виділений з нафтозабрудненої Мексиканської затоки, характеризується продукцією амфифільних сідерофорів-охробактинів-ОН, які є похідними аеробактину. Припускають, що сідерофори штамів-нафтодеструкторів істотно впливають на процес біоремедіації забруднених територій. Сідерофори ефективно зв'язують і збільшують рухливість широкого кола металів, таких як Zn, Ni, Cu, Mn, Co, Mo, які також залучені в клітинні процеси в Мм або μ М кількостях.

Хелатування металів мікробними сідерофорами особливо важливий процес, що відбувається при колонізації мінеральних поверхонь, у результаті чого формується мікросередовище, в якому мікроорганізмам легше отримувати необхідні елементи. Так, наприклад, штами *Arthrobacter* та *Streptomyces sp.*, які продукують сідерофори катехолового типу, здатні екстрагувати залізо з мінералу, що являє собою алюмосилікат кальцію, магнію і заліза [7].

Висновки

Проблема антибіотикорезистентності у світі зростає у геометричній прогресії. Наведені вище дані обґрунтовують доцільність активного дослідження та випробовування сідерофорів як природного, так і синтетичного походження. Використання стратегії «троянського коня» або соціомікробіологічних підходів для впливу на патогенні бактерії, якщо і не вирішить проблему антибіотикорезистентності, то може помітно пригальмувати її розвиток, що, без сумніву, послугує людству.

Література

1. Sah S. Siderophore: structural and functional characterisation — a comprehensive review / S. Sah, R. Singh // Agriculture (Poľnohospodárstvo). — 2015. — V. 61, # 3. — P. 97—114.
2. Kurth C. Siderophores as molecular tools in medical and environmental applications / C. Kurth, H. Kage, M. Nett // Org. Biomol. Chem. — 2016. — V. 35, # 14. — P. 8212—8227.
3. Saha M. Microbial siderophores and their potential applications: a review / M. Saha, S. Sarkar, B. Sarkar, B.K. Sharma, S. Bhattacharjee, P. Tribedi // Environ. Sci Pollut. Res. Int. — 2016. — V. 23, # 5. — P. 3984—3999.
4. Glick R. Increase in rhamnolipid synthesis under iron-limiting conditions influences surface motility and biofilm formation in *Pseudomonas aeruginosa* / R. Glick, C. Gilmour, J. Tremblay, S. Satanower, O. Avidan, [et al.] // J. Bacteriol. — 2010. — V. 192, # 12. — P. 2973—2980.
5. Fazary A.E. Production, biodegradation and chelating studies on siderophores / A.E. Fazary, Y. Ju, A.S. Al-Shihri, M.Y. Alfaifi, M.A. Alshehri // Rev. Inorg. Chem. — 2016. — ISSN (Online). — P. 2191—2227.
6. Ahmed E. Siderophores in environmental research: roles and applications / E. Ahmed, S.J. Holmstrom // Microb. Biotechnol. — 2014. — V.7, # 3. — P. 196—208.
7. Микробные сидерофоры: классификация, применение, детекция и идентификация : уч.-метод. пос. к спецдисц. по микробиологии, биохимии, биотехнологии. — Казань : Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2015. — 21 с.
8. Zimmer C. A Weakness in Bacteria's Fortress / C. Zimmer // Sci. Am. — 2015. — V. 312, # 1. — P. 40—45.

9. Ferreira D., Seca A., Pinto D., Silva A. Targeting human pathogenic bacteria by siderophores: A proteomics review / D. Ferreira, A. Seca, D. Pinto, A. Silva // J. Proteomics. — 2016. — V. 22, # 145. — P. 153—166.

10. Page M. *In Vitro* Properties of BAL30072, a Novel Siderophore Sulfactam with Activity against Multiresistant Gram-Negative Bacilli / M. Page, C. Dantier, E. Desarbres // Antimicrob. Agents Chemother. — 2010. — V. 54, # 6. — P. 2291—2302.

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СИДЕРОФОРОВ

А.А. Шкут, А.В. Карпов

Национальный университет пищевых технологий

*В статье приведена характеристика бактериальных сидерофоров (описание и общий механизм действия). Представлена классификация в зависимости от функциональных групп, которые играют роль в связывании железа: сидерофоры на основе пептидов, сидерофоры на основе аминоканолов, сидерофоры на основе лимонной кислоты и смешанные сидерофоры. Рассмотрена новая стратегия использования сидерофоров как инструмента в социомикробиологических исследованиях для подавления развития микробных сообществ путем разрыва коммуникативных связей в сообществе. Описан опыт с использованием галлия для подавления развития колоний *Pseudomonas aeruginosa*. Охарактеризованы известные природные сидеромицины, определена их роль в медицине и биоремедиации, а также проблемы внедрения синтетических сидеромицинов.*

Ключевые слова: *транспорт антибиотиков, сидеромицины, связывание железа, антисоциальные препараты, конъюгаты антибиотиков.*

SYNERGISTIC ACTION OF *NOCARDIA VACCINII* IMV B-7405 SURFACTANTS AND ANTIFUNGAL AGENTS

T. Pirog, L. Nikitiuk

National University of Food Technologies

Key words:	ABSTRACT
<i>Nocardia vaccinii</i> IMV B-7405 Surfactants Antifungal agents Synergism	The antifungal activity against fungi of <i>Candida</i> , <i>Fusarium</i> and <i>Mucor</i> genera mixture of <i>Nocardia vaccinii</i> IMV B-7405 surfactants and antibiotic nystatin or synthetic antifungal drug fluconazole was studied in the article. It was found that the surfactants of IMV B-7405 strain decreased the minimum inhibitory concentration (MIC) of the test drugs. In the presence of 60—80% surfactants in mixture with nystatin or fluconazole MIC against <i>Candida albicans</i> D-6, <i>Candida tropicalis</i> PE-2 and <i>Candida utilis</i> BVC-65 was 2—32 times lower than minimum inhibitory concentration of antifungal agents. Despite the extremely low MIC for fluconazole against <i>Fusarium culmorum</i> T-7 (0.65 µ/ml), the addition of <i>N. vaccinii</i> IMV B-7405 (60—80%) surfactant was accompanied by decreasing this index twice. The presented minimum inhibitory concentration against fungi of <i>Candida</i> genus mixture of IMV B-7405 strain surfactants and nystatin (fluconazole) is comparable with the one established for the world-known effective drugs.
Article history: Received 12.11.2016 Received in revised form 25.11.2016 Accepted 14.12.2016	
Corresponding author: T. Pirog E-mail: npnuht@ukr.net	

СИНЕРГІЧНА ДІЯ ПОВЕРХНЕВО АКТИВНИХ РЕЧОВИН *NOCARDIA VACCINII* ІМВ В-7405 І АНТИФУНГАЛЬНИХ ЗАСОБІВ

Т.П. Пирог, Л.В. Никитюк

Національний університет харчових технологій

У статті досліджено антифунгальну активність щодо грибів родів *Candida*, *Fusarium* і *Mucor* суміші поверхнево-активних речовин (ПАР) *Nocardia vaccinii* ІМВ В-7405 та антибіотика ністатину або синтетичного проти-грибкового препарату флуконазолу. Встановлено, що ПАР штаму ІМВ В-7405 знижували мінімальну інгібуючу концентрацію (МІК) досліджуваних лікарських засобів. За наявності 60—80% ПАР у суміші з ністатином або флуконазолом МІК щодо *Candida albicans* Д-6, *Candida tropicalis* PE-2 і *Candida utilis* БВС-65 була у 2—32 рази нижчою, ніж мінімальна інгібуюча концентрація антифунгальних засобів. Незважаючи на надзвичайно низьку МІК флуконазолу щодо *Fusarium culmorum* Т-7 (0,65 мкг/мл), додавання ПАР *N. vaccinii* ІМВ В-7405 (60—80%) супроводжувалося зниженням цього показника у два рази. Наведені у дослідженні значення мінімальної інгібуючої концентрації щодо грибів роду *Candida* суміші ПАР штаму ІМВ В-7405 та

ністатину (флуконазолу) є порівнянними із встановленими для відомих у світі ефективних лікарських засобів.

Ключові слова: *Nocardia vaccinii* IMB B-7405, поверхнево-активні речовини, антифунгальні засоби, синергізм.

Постановка проблеми. В останні десятиліття відзначається значне зростання грибкових захворювань. Це пов'язано з багатьма факторами і, зокрема, з широким застосуванням в медичній практиці антибіотиків широкого спектра дії, імунодепресантів та інших груп лікарських засобів. Мікозам належить одне з провідних місць серед опортуністичних інфекцій [1].

Кандидози — яскравий приклад опортуністичної інфекції, свого роду «імунологічна драма», де свою роль відіграють фактори агресії й патогенності гриба і фактори антифунгальної резистентності макроорганізму [2; 3]. Причому *Candida* spp. не є серйозною загрозою здоров'ю імунокомпетентної людини. У той же час на тлі збільшення числа пацієнтів із порушеннями в системах антимікробної резистентності спостерігається значне зростання захворюваності кандидозами.

Крім того, інвазивні грибкові інфекції (*Candida* spp., *Aspergillus* spp., *Mucorales*, *Fusarium* spp. та ін.) досить часто зустрічаються у внутрішньо-лікарняних умовах [4]. Ці інфекції важкі в діагностиці і є причиною високої захворюваності й смертності, незважаючи на антифунгальну терапію.

На сьогодні одними з найуживаніших антифунгальних лікарських засобів є полієнові антибіотики (ністатин, леворин, натаміцин, амфотерицин В, мікогептин), похідні імідазолу (міконазол, кетоконазол, ізоконазол, клотримазол, еконазол, біфоназол, оксиконазол) та похідні триазолу (флуконазол, ітраконазол, вориконазол) [5].

У зв'язку з тенденцією до зростання грибкових захворювань (як поверхневих, так і важких вісцеральних мікозів, асоційованих з ВІЛ-інфекцією, онкогематологічними захворюваннями), розвитком стійкості збудників до наявних лікарських засобів, виявленням видів грибів, що раніше вважалися непатогенними, біоплівкоутворенню за участю грибів, зросла потреба в нових ефективних протигрибкових засобах [6; 7]. На теперішній час активно досліджуються препарати біологічного походження [8; 9], у тому числі й мікробні поверхнево-активні речовини (ПАР) [10], які здатні проявляти не тільки ефективну антимікробну активність, а й посилювати антифунгальну дію існуючих лікарських засобів [11; 12].

У попередніх дослідженнях нами було встановлено антимікробну активність ПАР, синтезованих *Nocardia vaccinii* IMB B-7405 на очищеному та технічному гліцерині [13].

Мета статті: дослідити синергічну дію на деякі гриби поверхнево-активних речовин *N. vaccinii* IMB B-7405 і антифунгальних лікарських засобів.

Матеріали і методи. Об'єкт дослідження — штам *N. vaccinii* K-8, зареєстрований в Депозитарії мікроорганізмів Інституту мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного Національної академії наук України за номером BMB B-7405.

N. vaccinii IMB B-7405 вирощували в колбах на качалці (320 об./хв) при 30°C упродовж 7 діб в рідкому мінеральному середовищі такого складу (г/л): NaNO₃ — 0,5; MgSO₄×7H₂O — 0,1; CaCl₂×2 H₂O — 0,1; KH₂PO₄ — 0,1; FeSO₄×7H₂O — 0,001, дріжджовий автолізат — 0,5% (об'ємна частка). Як джерело вуглецю використовували очищений гліцерин у концентрації 2% (об'ємна частка).

У дослідженнях використовували поверхнево-активні речовини, екстраговані супернатанту сумішшю Фолча (хлороформ і метанол, 2:1), як описано раніше у [13].

У дослідженні використовували такі антифунгальні засоби:

- *ністатин* — полієновий антибіотик (продуцент *Streptomyces noursei*), механізм дії якого полягає у зв'язуванні із стеринами клітинної мембрани грибів, унаслідок чого мембрана стає нездатною функціонувати як селективний бар'єр, що призводить до втрати основних компонентів клітини. Особливо чутливими до ністатину є гриби роду *Candida* і *Aspergillus*;

- *флуконазол* — синтетичний засіб, який за хімічною природою є похідним триазолу. Спричиняє фунгістатичну дію, пригнічуючи синтез ергостерину, важливого компонента мембрани грибів. Характеризується високою активністю щодо грибів роду *Candida* і *Cryptococcus*.

Для дослідження синергічної дії розчини антифунгальних засобів і ПАР однакової концентрації (0,1 мг/мл) змішували у різних співвідношеннях (табл. 1).

Таблиця 1. Співвідношення антифунгальних засобів і поверхнево-активних речовин у суміші

Варіант суміші	Вміст у суміші (% , об'ємна частка)	
	Антифунгальний засіб	ПАР
1	50	50
2	40	60
3	30	70
4	25	75
5	20	80

Антимікробну дію антибіотиків, поверхнево-активних речовин та їх суміші аналізували за показником мінімальної інгібуючої концентрації (МІК). Визначення МІК здійснювали методом двократних серійних розведень у рідкому суслі, як описано раніше [13]. Результати оцінювали візуально за помутнінням середовища: (+) — пробірки, в яких спостерігали помутніння середовища (ріст тест-культури), (–) — помутніння не було (ріст відсутній). Мінімальну інгібуючу концентрацію розчину ПАР, антифунгальних засобів та їх суміші визначали як значення концентрації досліджуваних речовин у першій пробірці, де ріст був відсутній.

Як тест-культури використовували гриби *Candida albicans* Д-6, *Candida tropicalis* PE-2, *Candida utilis* БВС-65, *Fusarium culmorum* Т-7 та *Mucor racemosus* М-6 з колекції мікроорганізмів кафедри біотехнології і мікробіології Національного університету харчових технологій.

Усі досліді проводили в трьох повторностях, кількість паралельних визначень в експериментах становила від 3 до 5. Статистичну обробку експери-

ментальних даних проводили, як описано раніше у [13]. Відмінності середніх показників вважали достовірними при рівні значущості $p < 0,05$.

Результати і обговорення. У табл. 2 наведено дані про антифунгальну активність щодо досліджуваних тест-культур грибів антибіотика ністатину, розчину ПАР *N. vaccinii* IMB B-7405 та їх суміші.

Таблиця 2. Мінімальна інгібуюча концентрація ністатину, ПАР *N. vaccinii* IMB B-7405 та їх суміші щодо тест-культур грибів

Тест-культура	Антифунгальна сполука (вміст у суміші, %, об'ємна частка)	МІК, мкг/мл
<i>Candida albicans</i> Д-6	ПАР, 100	82
	Ністатин, 100	41
	Ністатин, 50 + ПАР, 50	82
	Ністатин, 40 + ПАР, 60	41
	Ністатин, 30 + ПАР, 70	20,5
	Ністатин, 25 + ПАР, 75	5,1
	Ністатин, 20 + ПАР, 80	1,3
<i>Candida tropicalis</i> PE-2	ПАР, 100	82
	Ністатин, 100	41
	Ністатин, 50 + ПАР, 50	20,5
	Ністатин, 40 + ПАР, 60	5,1
	Ністатин, 30 + ПАР, 70	10,2
	Ністатин, 25 + ПАР, 75	20,5
	Ністатин, 20 + ПАР, 80	41
<i>Candida utilis</i> БВС-65	ПАР, 100	82
	Ністатин, 100	41
	Ністатин, 50 + ПАР, 50	82
	Ністатин, 40 + ПАР, 60	20,5
	Ністатин, 30 + ПАР, 70	2,6
	Ністатин, 25 + ПАР, 75	5,1
	Ністатин, 20 + ПАР, 80	5,1
<i>Fusarium culmorum</i> Т-7	ПАР, 100	41
	Ністатин, 100	20,5
	Ністатин, 50 + ПАР, 50	2,6
	Ністатин, 40 + ПАР, 60	5,1
	Ністатин, 30 + ПАР, 70	1,3
	Ністатин, 20 + ПАР, 80	20,5
	Ністатин, 20 + ПАР, 80	20,5
<i>Mucor racemosus</i> М-6	ПАР, 100	82
	Ністатин, 100	20,5
	Ністатин, 50 + ПАР, 50	10,2
	Ністатин, 40 + ПАР, 60	5,1
	Ністатин, 30 + ПАР, 70	5,1
	Ністатин, 20 + ПАР, 80	20,5
	Ністатин, 20 + ПАР, 80	20,5

Примітка. Під час визначення МІК похибка не перевищувала 5%.

Експерименти показали, що прояв синергічної дії на гриби поверхнево-активних речовин і ністатину залежав від співвідношення цих антифунгальних сполук у суміші й типу тест-культури. Зазначимо, що у більшості

варіантів антифунгальна активність суміші ПАР штаму ІМВ В-7405 та антибіотика підвищувалася у разі збільшення вмісту поверхнево-активних речовин. Так, ПАР за їх вмісту у суміші 60—70% (об'ємна частка) знижували МІК ністатину щодо *F. culmorum* Т-7 і *M. racemosus* М-6 у 4–15 разів (з 20,5 до 1,3–5,1 мкг/мл) (табл. 2).

Показник мінімальної інгібуючої концентрації щодо *C. albicans* Д-6, *C. tropicalis* РЕ-2 і *C. utilis* БВС-65 був найнижчим (1,3–5,1 мкг/мл) за наявності у суміші з антибіотиком ПАР у концентрації 75–80, 60 і 70–80 % відповідно. Зазначимо, що за такого вмісту поверхнево-активних речовин МІК ністатину знижувалася у 8–32 рази порівняно із значенням без ПАР (див. табл. 2).

У доступній літературі нам не вдалося знайти інформацію про антифунгальні сполуки, здатні до прояву синергічної активності спільно з ністатином. Разом з тим, у [14] було встановлено, що антибіотик колістин (поліміксин Е) посилює антифунгальну активність ехінокандинів — нової групи протигрибкових засобів, яким притаманна фунгіцидна активність щодо *Candida* spp., у т.ч. штамів, резистентних до азолів (флуконазолу, ітраконазолу) і амфотерицину В. Представниками ехінокандинів, дослідження яких розпочалося близько 15 років тому, є каспофунгін [9] — напівсинтетичний ліпопептид, одержаний на основі метаболітів *Glarea lozoyensis*, а також амінокандин, синтезований *Aspergillus sydowi* [14]. Встановлено, що виживання різних штамів *C. albicans* через 16 год за наявності суміші амінокандину (0,00125 мг/л) і колістину (30 мг/л) становило 20—60%, у той час в аналогічних умовах без колістину — 80—90%. Автори показали, що позитивна дія колістину полягає у порушенні цілісності плазматичної мембрани дріжджів, що, у свою чергу, підвищує її проникність для антифунгального засобу [14].

Продовженням досліджень, описаних у [14], стала праця [12], в якій встановлено, що інший представник поліміксинових антибіотиків (поліміксин В) проявляє з каспофунгіном синергічну дію щодо стійких до флуконазолу штамів *Candida glabrata*. Щодо чотирьох із семи досліджених штамів *C. glabrata* було встановлено синергічну дію суміші поліміксіну В і каспофунгіну, щодо одного — адитивну [12].

На наступному етапі ми аналізували вплив поверхнево-активних речовин *N. vaccinii* ІМВ В-7405 на антифунгальну активність флуконазолу (табл. 3). Експерименти показали, що так само як і антибіотика ністатину, ПАР штаму ІМВ В-7405 посилювали антимікробну дію і синтетичного протигрибкового засобу. За наявності 70—75% вмісту ПАР у суміші з флуконазолом спостерігали зниження мінімальної інгібуючої концентрації останнього щодо представників роду *Candida* у 2—8 разів (з 41 до 5,1—20,5 мкг/мл, табл. 3). Незважаючи на надзвичайно низьку МІК флуконазолу щодо *F. culmorum* Т-7 (0,65 мкг/мл), додавання ПАР *N. vaccinii* ІМВ В-7405 (60—80%) супроводжувалося зниженням цього показника у два рази. Зазначимо, що нам не вдалося встановити синергічну дію суміші ПАР штаму ІМВ В-7405 і флуконазолу на *M. racemosus* М-6. З'ясуванню цього явища будуть присвячені наші подальші дослідження.

Таблиця 3. Синергізм антифунгальної активності ПАР *N. vaccinii* IMB B-7405 і флуконазолу

Антифунгальна сполука (вміст у суміші, %, об'ємна частка)	МІК (мкг/мл) щодо				
	<i>Candida albicans</i> Д-6	<i>Candida tropicalis</i> РЕ-2	<i>Candida utilis</i> БВС-65	<i>Fusarium culmorum</i> Т-7	<i>Mucor racemosus</i> М-6
ПАР, 100	82	82	82	41	82
Флуконазол, 100	41	41	41	0,65	10,2
Флуконазол, 50 + ПАР, 50	82	41	41	0,65	41
Флуконазол, 40 + ПАР, 60	82	41	20,5	0,32	41
Флуконазол, 30 + ПАР, 70	20,5	10,2	5,1	0,32	20,5
Флуконазол, 25 + ПАР, 75	10,2	10,2	5,1	Н.в.	Н.в.
Флуконазол, 20 + ПАР, 80	20,6	5,1	41	0,32	20,5

Примітки. Н.в. — не визначали. Під час визначення МІК похибка не перевищувала 5%.

Літературні дані про синергізм антифунгальної дії мікробних ПАР і проти-грибкових препаратів є вкрай обмеженими. Так, у [11] показано, що суміш С15-сурфактину (6,25 мг/мл), синтезованого *Bacillus amyloliquefaciens* MB199, і кетоконазолу (0,004 мг/мл) спричиняє синергетичну дію на *C. albicans* SC5314. Концентрації цих препаратів у суміші були нижчими, ніж встановлені для кожної з сполук окремо (0,100 і 0,016 мг/мл, відповідно).

У той же час у літературі є більше відомостей про синергізм дії антифунгальних засобів з іншими, відмінними від мікробних ПАР, сполуками. Так, встановлено, що INK128 (інгібітор mTOR — протеїнкінази, що бере участь у фосфорилуванні білків) проявляє синергічну дію на *Exophiala* spp. і *Fusarium* spp. із золами (ітраконазол, вориконазол, позаконазол) [15]. Ефективна концентрація INK128, що забезпечувала прояв синергічної антифунгальної активності, становила 0,125—4 мкг/мл.

У [16] показано, що антифунгальні рослинні пептиди дефензини HsAFP1, виділені з гейхери (*Heuchera sanguinea*), посилюють дію каспофунгіну та амфотерицину В на штами *C. albicans*, причому синергічна дія спостерігається як на суспензійні клітини дріжджів, так і клітини у складі біоплівки.

Н. Kiraz із співав. [17] досліджували антифунгальну дію на 50 штамів *Candida glabrata* різних сумішей вориконазолу, флуконазолу та ітраконазолу з каспофунгіном. Синергічний ефект був встановлений для восьми (16%) комбінацій каспофунгіну і вориконазолу і семи (14%) — каспофунгіну з флуконазолом, проте не з ітраконазолом.

Висновки

Отже, одержані нами результати є одними з перших, що засвідчують можливість використання поверхнево-активних речовин мікробного походження (на прикладі ПАР *N. vaccinii* IMB B-7405) для посилення антимікробної дії протигрибкових лікарських препаратів. Наведені у статті значення мінімальної інгібуючої концентрації щодо грибів роду *Candida* суміші ПАР штаму IMB B-7405 та ністатину (флуконазолу) є порівнянними із встановленими для відомих у світі ефективних антифунгальних засобів.

Література

1. Lyon S. Antifungal prophylaxis: why, what and how? *Future Microbiol.* 2016; 11(1): 11—15. doi: 10.2217/fmb.15.129.
2. Chin V.K., Lee T.Y., Rusliza B., Chong P.P. Dissecting *Candida albicans* infection from the perspective of *C. albicans* virulence and omics approaches on host-pathogen interaction: a review. *Int. J. Mol. Sci.* 2016; 17(10). doi: 10.3390/ijms17101643.
3. Orasch C., Marchetti O., Garbino J., Schrenzel J., Zimmerli S., Mühlethaler K., Pfyffer G., Ruef C., Fehr J., Zbinden R., Calandra T., Bille J. *Candida* species distribution and antifungal susceptibility testing according to European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing and new vs. old Clinical and Laboratory Standards Institute clinical breakpoints: a 6-year prospective candidaemia survey from the fungal infection network of Switzerland. *Clin. Microbiol. Infect.* 2014; 20(7): 698—705. doi:10.1111/1469-0691.12440.
4. Miceli M.H., Lee S.A. Emerging moulds: epidemiological trends and antifungal resistance. *Mycoses.* 2011; 54(6): e666—678. doi: 10.1111/j.1439-0507.2011.02032.x.
5. Steinbach W.J., Perfect J.R. Newer antifungal therapy for emerging fungal pathogens. *Int. J. Infect. Dis.* 2003; 7(1): 5—20.
6. Hagiwara D., Watanabe A., Kamei K., Goldman G.H. Epidemiological and genomic landscape of azole resistance mechanisms in *Aspergillus* fungi. *Front Microbiol.* 2016. doi:10.3389/fmicb.2016.01382.
7. Desai J.V., Mitchell A.P., Andes D.R. Fungal biofilms, drug resistance, and recurrent infection. *Cold Spring Harb. Perspect. Med.* 2014; 4(10). doi:10.1101/cshperspect.a019729.
8. Zida A., Bamba S., Yacouba A., Ouedraogo-Traore R., Guiguemé R.T. Anti-*Candida albicans* natural products, sources of new antifungal drugs: a review. *J Mycol. Med.* 2016; doi: 10.1016/j.mycmed.2016.10.002.
9. Balkovec J.M., Hughes D.L., Masurekar P.S., Sable C.A., Schwartz R.E., Singh S.B. Discovery and development of first in class antifungal caspofungin (CANCIDAS®) — a case study. *Nat. Prod. Rep.* 2014; 31(1): 15—34. doi: 10.1039/c3np70070d.
10. Rautela R., Singh A.K., Shukla A., Cameotra S.S. Lipopeptides from *Bacillus* strain AR2 inhibits biofilm formation by *Candida albicans*. *Antonie Van Leeuwenhoek.* 2014; 105(5): 809—821. doi: 10.1007/s10482-014-0135-2.
11. Liu X., Ren B., Gao H., Liu M., Dai H., Song F., Yu Z., Wang S., Hu J., Kokare C.R., Zhang L. Optimization for the production of surfactin with a new synergistic antifungal activity. *PLoS One.* 2012; 7(5): e34430. doi: 10.1371/journal.pone.0034430.
12. Adams E.K., Ashcraft D.S., Pankey G.A. In vitro synergistic activity of Caspofungin plus Polymyxin B against fluconazole-resistant *Candida glabrata*. *Am. J. Med. Sci.* 2016; 351(3): 265—270. doi: 10.1016/j.amjms.2015.12.014.
13. Pirog T.P., Nikituk L.V., Iutynska G.O. Biological properties of *Nocardia vaccinii* IMV B-7405 surfactants synthesized on byproduct of biodiesel production // *Microbiol. Zh.* 2016; 78(5): 12—20.
14. Zeidler U., Bounoux M.E., Lupan A., Helynck O., Doyen A., Garcia Z., Sertour N., Clavaud C., Munier-Lehmann H., Saveanu C., d'Enfert C. Synergy of the antibiotic colistin with echinocandin antifungals in *Candida* species. *J. Antimicrob. Chemother.* 2013; 68(6): 1285—1296. doi: 10.1093/jac/dks538.
15. Gao L., Sun Y., He C., Li M., Zeng T., Lu Q. INK128 Exhibits synergy with azoles against *Exophiala* spp. and *Fusarium* spp. *Front Microbiol.* 2016; 7:1658. doi: 10.3389/fmicb.2016.01658.
16. Vriens K., Cools T.L., Harvey P.J., Craik D.J., Spincemaille P., Cassiman D., Braem A., Vleugels J., Nibbering P.H., Drijfhout J.W., De Coninck B., Cammue B.P., Thevissen K. Synergistic activity of the plant defensin HsAFP1 and caspofungin against *Candida albicans* biofilms and planktonic cultures. *PLoS One.* 2015; 10(8). doi:10.1371/journal.pone.0132701.
17. Kiraz N., Dag I., Yamac M., Kiremitci A., Kasifoglu N., Öz Y. Synergistic activities of three triazoles with caspofungin against *Candida glabrata* isolates determined by time-kill, Etest, and disk diffusion methods. *Antimicrob. Agents Chemother.* 2010; 54(5): 2244—2247. doi: 10.1128/AAC.01527-09.

СИНЕРГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ *NOCARDIA VACCINII* ИМВ В-7405 И АНТИФУНГАЛЬНЫХ СРЕДСТВ

Т.П. Пирог, Л.В. Никитюк

Национальный университет пищевых технологий

*В статье исследована антифунгальная активность по отношению к грибам родов *Candida*, *Fusarium* и *Mucor* смеси поверхностно-активных веществ (ПАВ) *Nocardia vaccinii* ИМВ В-7405 и антибиотика нистатина или синтетического противогрибкового препарата флуконазола. Установлено, что ПАВ штамма ИМВ В-7405 снижали минимальную ингибирующую концентрацию (МИК) исследуемых лекарственных средств. При наличии 60—80% ПАВ в смеси с нистатином или флуконазолом МИК по отношению к *Candida albicans* Д-6, *Candida tropicalis* РЕ-2 и *Candida utilis* БВС-65 была в 2—32 раза ниже, чем минимальная ингибирующая концентрация антифунгальных средств. Несмотря на чрезвычайно низкую МИК флуконазола по отношению к *Fusarium culmorum* Т-7 (0,65 мкг/мл), добавление ПАВ *N. vaccinii* ИМВ В-7405 (60—80%) сопровождалось снижением этого показателя в два раза. Приведенные в работе значения МИК по отношению к грибам рода *Candida* смеси ПАВ штамма ИМВ В-7405 и нистатина (флуконазола) сопоставимы с установленными значениями известных в мире эффективных лекарственных средств.*

Ключевые слова: *Nocardia vaccinii* ИМВ В-7405, поверхностно-активные вещества, антифунгальные средства, синергизм.

BIOENGINEERING ASPECTS OF CREATING CATALYTIC ANTIBODIES

I. Lych, Yu. Doroshko, O. Borodina, V. Shulzhenko

National University of Food Technologies

Key words:

Abzymology
Bioengineering
Biocatalysis
Anti-idiotypic network
ADEPT concept

Article history:

Received 16.11.2016
Received in revised form
01.12.2016
Accepted 20.12.2016

Corresponding author:

I. Lych
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The research of antibodies with catalytic activity is one of the modern and rapidly emerging trends in the immunology and biotechnology. Catalytic antibodies (also known as “abzymes”) are the new type of biocatalysts which belong to the immunoglobulin superfamily and have the residues of amino acid involved in catalytic reactions in the hypervariable areas responsible for antigen binding. The early scientific studies to obtain such antibodies began in the late 1980's. An impulse for the implementation of the researches was, on the one hand, an accumulation of necessary scientific knowledge about the molecular mechanisms of interactions of antibodies with antigens and the structure of transition states, and on the other — the development of hybrid technology for monoclonal antibodies with catalytic properties. After the creation of such biocatalysts, the scientific progress has not stopped and now the scientists have developed several advanced strategies based on biological and chemical approaches, which are the prerequisites for creating new types of catalytic antibodies.

БІОІНЖЕНЕРНІ АСПЕКТИ СТВОРЕННЯ КАТАЛІТИЧНИХ АНТИТІЛ

І.В. Лич, Ю.М. Дорошко, О.О. Бородіна, В.С. Шульженко

Національний університет харчових технологій

Вивчення антитіл, які володіють каталітичною активністю, є одним із сучасних напрямків у галузі імунології та біотехнології. Каталітичні антитіла (абзими) — це новий тип біокаталізаторів, які належать до суперродини імуноглобулінів і мають у складі своїх гіперваріабельних ділянок, відповідальних за зв'язування антигену, амінокислотні залишки, які беруть участь у каталітичних реакціях. Перші наукові дослідження з отримання таких антитіл були розпочаті в кінці 80-х років XX століття. Поштовхом для реалізації наукових досліджень стало накопичення необхідних наукових знань про молекулярні механізми взаємодії антитіл з антигенами та структуру перехідних станів, а також розроблення гібридної технології отримання моноклональних антитіл із каталітичними властивостями. Після створення таких біокаталізаторів вченими розроблено декілька сучасних стратегій, що

базуються на біологічних і хімічних підходах, які є обов'язковою умовою для створення нових типів каталітичних антитіл.

Ключові слова: абзимологія, біоінженерія, біокаталіз, антиідіотипова мережа, ADEPT стратегія.

Постановка проблеми. На сьогодні злоякісні новоутворення — це одна із наймасштабніших проблем людства. Окрім цього, існує ще одна проблема, яка залишається невирішеною — це боротьба з інфекційними захворюваннями, що викликані штамми, стійкими до антибіотиків. Дослідження, присвячені вивченню каталітичних антитіл, пов'язані з перспективністю їх використання в медичній практиці. Розробка наукової бази вдосконалення каталітичних антитіл для використання проводиться досить інтенсивно в складі потужних наукових центрів, які об'єднують хіміків, імунологів і біотехнологів.

Каталітичні антитіла (абзими) представляють інтерес з точки зору механізму їх виникнення і ролі у функціонуванні імунної системи організму, а також як потенційні терапевтичні агенти. Відомо, що абзими здатні каталізувати такі хімічні реакції, для яких не існує природних ферментів.

Існує декілька різних підходів до пошуку каталітичних антитіл. Найбільш вивченими абзимами є штучні біокаталізатори, які синтезуються шляхом імунізації стабільними аналогами перехідних станів реакцій [1]. Сфера їх застосування включає різноманітні реакції органічного синтезу й обмежується рівнем енергетичного бар'єру прискореної реакції. Низька імуногенність і висока стабільність антитіл у кровотоці дає змогу використовувати абзими для руйнування психоактивних речовин і активації попередників протипухлинних лікарських засобів *in vivo*.

Структурно-функціональний аналіз штучних біокаталізаторів на основі антитіл може забезпечити шляхи пізнання «еволюційно досконалого» біокаталізатора. Конструювання на їх основі «каталітичних вакцин», здатних цілеспрямовано руйнувати білки, які відповідальні за розвиток конкретних патологій, могло б стати одним із підходів до отримання «ліків майбутнього». Також розширюється використання абзимного каталізу в біотехнологічних процесах. Каталітичні антитіла вже визначаються як «новий молекулярний інструмент» для вивчення ревматологічних і кардіологічних захворювань, хвороб ендокринної системи, аутоімунних захворювань ЦНС, сепсису, ВІЛ-інфекцій, інших інфекційних патологій [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Пошуком і створенням каталітичних антитіл з абсолютно новими властивостями для боротьби з інфекційними агентами та пухлинами займаються такі вітчизняні та зарубіжні вчені: Ю.Я. Кіт, Р.С. Стойка, Р.С. Генералов, А.Г. Габілов, B.N. Raouia, A.E. Warrington, J.B. Treweek, K.D. Janda, R.K. Goswami, Z.Z. Huang, J.S. Forsyth, C.F. Barbas, R.A. Lerner, S.C. Sinha та інші.

Мета статті: дослідити сучасні аспекти створення каталітичних антитіл з основами біоінженерії, які б знайшли своє призначення в медичній практиці.

Викладення основних результатів дослідження. Наприкінці 40-х років ХХ ст. Л. Полінг досліджував властивості ферментів та антитіл. У процесі

досліджень вчений з'ясував, що антитіла подібні до ензимів, тобто здатні зв'язуватися з лігандами, а також можуть каталізувати різні хімічні сполуки [1]. На основі цієї концепції виникла ідея одержання каталітичних антитіл шляхом імунізації тварин іммобілізованими на носії гаптенами. Одержані антитіла отримали назви абзими, вони здатні були прискорювати в 1000 разів гідроліз складних ефірів. У результаті спільних імунологічних, біохімічних і біотехнологічних досліджень виникла нова галузь — абзимологія.

Протягом тривалого часу молекули імуноглобулінів вважалися нездатними до каталізу. Тільки в середині 80-х років XX ст. була достовірно доведена каталітична активність антитіл і вивчені перші абзимні реакції. Однак на те, що антитіла мають здатність до каталізу, вказує сама структура даних молекул. Як відомо, імуноглобуліни мають складну будову з великою кількістю доменів (включаючи варіабельні), які містять значну кількість потенційних каталітичних груп. Надалі вдалося продемонструвати, що механізми ферментативного й абзимного каталізу загалом подібні. Вважається, що найбільш часто ферментативна реакція відбувається за механізмом стабілізації перехідного стану субстрату [1]. Фермент утримує цей нестабільний перехідний стан, збільшуючи таким чином ймовірність перетворення субстрату в продукт реакції. Аналогічний механізм був повністю доведений для каталітичних антитіл.

З моменту відкриття цього явища було проведено великий цикл досліджень, присвячених механізму каталітичної дії абзимів, структурі каталітичних антитіл (АТ), методам їх отримання, оцінці кінетичних параметрів абзимних реакцій тощо.

Сучасні методи синтезу каталітичних антитіл. Для індукції антитіл із каталітичною активністю проводять імунізацію антигеном — стабільним аналогом перехідного стану будь-якого субстрату [3]. Отримані каталітичні АТ стабілізують перехідний стан субстрату, прискорюючи таким чином його перетворення. Крім того, абзими, фіксуючи антиген (і його перехідний стан), здатні зменшувати ентропію реакції. На сьогодні виявлено два механізми синтезу антитіл: хімічний і біологічний [3].

Для прискорення реакції каталізу абзими використовують енергію зв'язування антигену — це так званий хімічний механізм. Встановлено, що АТ, як і ензими, є конформаційно-активними, а їх взаємодія з антигеном (АГ) може супроводжуватися конформаційними перебудовами, які змінюються залежно від незначних зміщень поліпептидних ланцюгів у варіабельній ділянці Fab-фрагмента до глобальних перебудов у третинній та четвертинній структурі всієї молекули імуноглобуліну [1; 3]. При цьому структурна комплементарність АТ—АГ досягається внаслідок конформаційних змін як АТ, так і АГ. Механізм утворення абзимів таким шляхом представлений на рис. 1.

У разі взаємодії АТ з АГ можлива структурна деформація останнього, як і в разі деформації субстрату в ензим-субстратному комплексі, тобто конформаційні перебудови АТ можуть зумовити конформаційні перебудови субстрату і подальше його перетворення на продукти реакції.

Згідно з гіпотезою індукованої відповідності, характерною відмінністю каталітично активних АТ від АТ, нездатних до каталізу, є вища конфор-

маційна лабільність перших, що свідчить про їх поліреактивність [1]. Поліреактивністю АТ називають здатність останніх афінно зв'язуватися більш ніж з одним АГ. Такі АГ істотно відрізняються за будовою, а їхня спорідненість з поліреактивними АТ (поліАТ) визначається певним просторовим розміщенням нуклеофільних та електрофільних груп молекули АГ. Серед поліАТ найдетальніше вивчені АТ, що здатні перехресно взаємодіяти з ДНК, фосфоліпідами та нуклеотидами. Спільною ознакою цих сполук є наявність у структурі молекул фосфодіефірних зв'язків. Імовірно, що просторова будова таких АГ може визначати рівень їхньої спорідненості до поліАТ. Якщо фосфодіефірні зв'язки деяких із цих сполук належать до макроергічних, то можна уявити, що під час взаємодії поліАТ з такими АГ утворюються проміжні макроергічні інтермедіати, здатні в подальшому фосфорилувати (переносити фосфатні групи) АГ із нижчою до них спорідненістю [1].

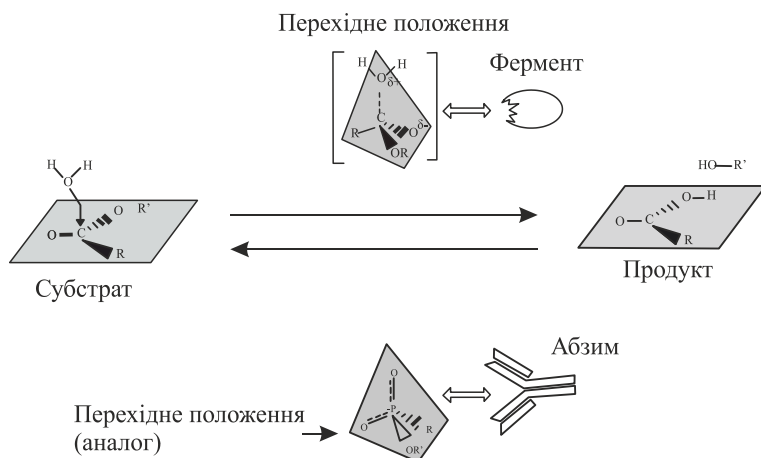


Рис. 1. Хімічний механізм утворення абзимів

Згідно з біологічним методом синтезу антитіл, існує два варіанти утворення абзимів: перший шлях пов'язаний з використанням антиідіотипових мереж, інший заснований на використанні білкового інгібітора [3].

Метод з використанням антиідіотипових мереж (рис. 2) ґрунтується на концепції «функціональної мімікрії» антигену (рис. 3), яка на сьогодні є найбільш визнаною [1; 3].

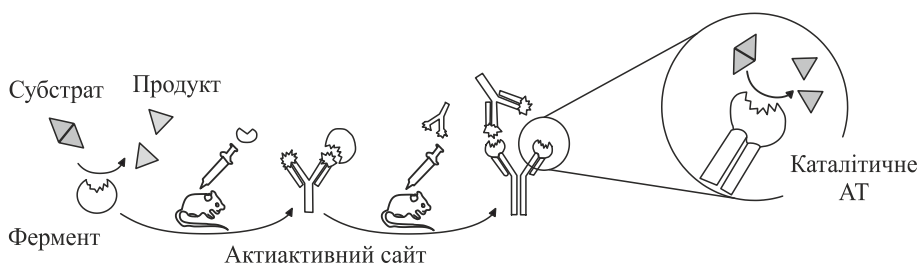


Рис. 2. Схема синтезу абзимів методом використання антиідіотипових мереж

Утворення абзимів саме цим методом є альтернативою хімічному механізму.

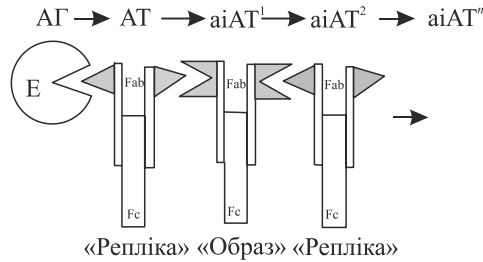


Рис. 3. Схема механізму індукції абзимів шляхом молекулярної мімікрії антигену

Примітка. Е — ензим, АТ — антитіла до амінокислотних залишків каталітичного центру ензиму; aiAT¹, aiAT² та aiATⁿ — антиідіотипові антитіла першого, другого і наступних порядків.

Концепція індукції абзимів шляхом функціональної мімікрії антигену є частковим випадком теорії формування антиідіотипових мереж Н. Ерне. Метод ґрунтується на тому, що гіперваріабельна ділянка молекули АТ (паратоп), яка відповідає за зв'язування з комплементарною ділянкою АГ (епітопом), сприймається імунною системою власного організму як чужорідна (є ідіотипом) і на неї виробляються відповідні антиідіотипові АТ(aiAT), які також є антигенними і продукують aiAT до свого ідіотипу (ai-АТ другого порядку). Останні, у свою чергу, є джерелом утворення aiAT наступного порядку [1]. Взаємодії типу АГ—АТ (aiAT)ⁿ утворюють систему (антиідіотипову мережу Н. Ерне), що регулює гуморальний імунітет у ссавців. За такого принципу формування імунної відповіді, очевидно, первинні АТ є до певної міри «відбитком інформації» (структурною реплікою) будови антигенної детермінанти, тоді як ai-АТ першого порядку (а також 3-го, 5-го тощо) можуть відображати її структуру (копіюють «внутрішній образ» антигенної детермінанти). Якщо антигенною детермінантою виявляється каталітичний центр молекули ензиму, то легко уявити, що антигензв'язувальна ділянка ai-АТ другого порядку може функціонувати подібно до каталітичного центру ензиму. Це означає, що абзими можуть бути антиідіотиповими антитілами, де АГ є ензимом [1].

Варіант використання білкового інгібітора базується на використанні білка, який інгібує фермент на конкурентній основі (рис. 4).

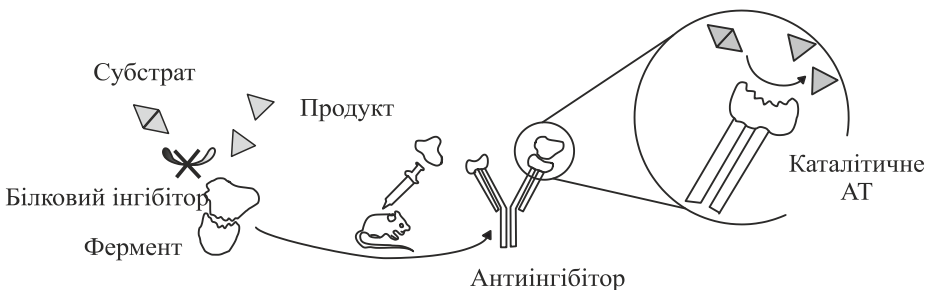


Рис. 4. Схема індукції каталітичних антитіл з використанням білкового інгібітора

Цей білок використовують як імуноген (наприклад, білок *Tendamistat* — інгібітор α -амілази підшлункової залози свиней) [3; 4]. Дослідниками було встановлено, що створені за цим методом абзими володіють α -амілазною активністю, а це, у свою чергу, підтверджує можливість імунної системи генерувати природні абзими, і може пояснити виникнення абзимів при різних патологічних захворюваннях, включаючи імунні, метаболічні, інфекційні тощо [4].

Перспективність використання абзимів у медичній практиці. Абзімологія як наука, що стрімко розвивається, зайняла провідну нішу в клінічній практиці і стала основою для розроблення нових медичних або хіміотерапевтичних препаратів. На сьогодні особливий інтерес у дослідників, лікарів-експертів і клініцистів викликають перспективи створення на основі абзимів біоінженерних конструкцій з подальшим використанням їх у фундаментальній і практичній медицині.

Один із перспективних напрямків пов'язаний зі створенням каталітичних АТ, які здатні зв'язувати і руйнувати наркотичні засоби, циркулюючи в периферичній крові до моменту ініціалізації ними токсичних ефектів на нервову та інші системи й тканини [5].

Групою американських вчених були отримані моноклональні АТ та проведені клінічні випробування препаратів АТ, здатних гідролізувати кокаїн та його ефіри, що запобігає гострому отруєнню кокаїном та дає змогу позбутися залежності від даного препарату [6]. Лікувальний ефект таких АТ був беззаперечно доведений на різних експериментальних і клінічних моделях, тоді як у АТ, позбавлених каталітичних властивостей, подібний ефект був відсутній. Моноклональні АТ, що володіють антикокаїновим каталітичним потенціалом, можуть бути використані як «периферичні блокатори» кокаїну для створення лікарських засобів у терапії за різних форм наркотичної (кокаїнової) залежності [7]. Це пов'язано з тим, що абзімам властива здатність здійснювати фотоокиснення амфітамінів, що дає змогу зменшити гостру інтоксикацію, викликану цими сполуками. Для лікування наркозалежності від марихуани пропонується використовувати АТ, здатні руйнувати психоактивні компоненти цього наркотичного засобу, зокрема тетрагідроканнабінол [8]. Вивчаються можливості використання каталітичних АТ, які здатні руйнувати нікотин. Ці результати підтверджують можливість лікування нікотинової залежності з використанням абзимів *in vivo*.

Перспективним напрямком у медичній практиці є розробка лікарських засобів нового покоління для сайт-спрямованої протипухлинної хіміотерапії в програмах, в яких замість традиційних бактеріальних ферментів-активаторів (ADEPT, *antibody-directed enzyme prodrug therapy*), використовуються абзими, що здійснюють активацію лікарського попередника (ADEPT) у момент його доставки до тканини й органу-мішені (рис. 5)

Дана терапія заснована на використанні антитіл, які кон'юговані з ферментами. Це дає змогу поєднати дві важливі функції антитіл — впізнавання клітини та функції каталізатора. Даний принцип (ADEPT) заснований на специфічній взаємодії раково-зв'язуючого антигена з антитілом та активації проліків ферментом. Це дає змогу уникнути системної токсичності препарату

та зберігати реакцію в безпосередній близькості до ракових клітин. Використання нелюдських ферментів у терапії людини підвищує ризик імуногенності, що, у свою чергу, обмежує шанси повторного використання терапевтичного білка. У цьому випадку ферменти можуть замінюватися абзимами.

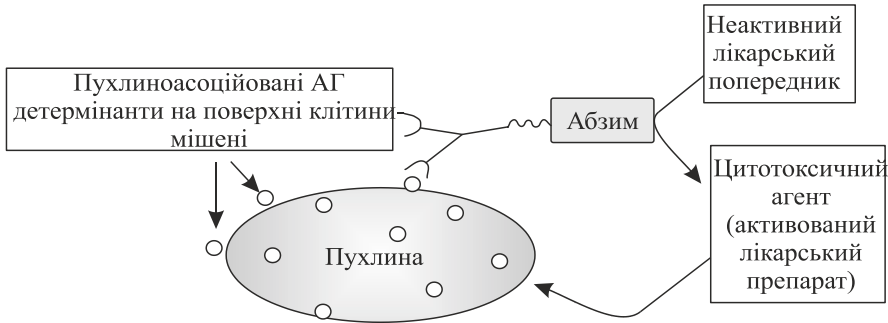


Рис. 5. Антитілоопосередкована prodrug ензимотерапія

Гуманізація антитіл шляхом генної інженерії також надає можливість вирішити питання імуногенності. На даний момент у терапії проліків використовуються такі абзими, як 38C2, 33F12, 84G3 та 93F3, але найбільш вивченим є 38C2. Дане антитіло виявляє альдолазну активність і генерується за рахунок реактивної імунізації. Абзим 38C2 активує пролікарську форму протиракових препаратів доксорубіцину і камптотецину. 38C2 має здатність інгібувати ріст первинних і метастатичних пухлин, включаючи саркому Капоші, меланому та рак молочної залози [9]. Антитіла, які використовуються в абзимній терапії проліків, є варіантом ADEPT стратегії, а абзими, які замінюють ферменти у цій терапії, називаються біспецифічними (рис. 6). Але використання біспецифічних абзимів ще не знайшло широкого використання у клінічних випробуваннях [10].

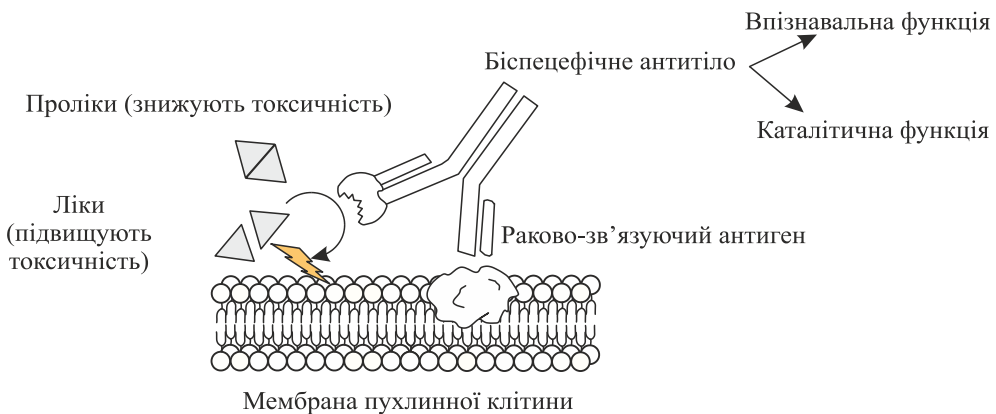


Рис. 6. Механізм ADEPT стратегії

Нові фармакоконструкції, що використовують у своєму складі адаптовані для організму людини абзими, забезпечують більш ефективне і раціональне

застосування методів prodrug-терапії у комплексному лікуванні ряду злоякісних новоутворень.

Висновки

Отже, перспективним методом для створення штучних абзимів з цілеспрямованою каталітичною активністю слід вважати біоінженерні конструкції. На сьогодні існує дві концепції синтезу каталітичних антитіл — це хімічний метод, заснований на принципі імунізації антигеном стабільним аналогом перехідного стану будь-якого субстрату, та біологічний метод, який, у свою чергу, розгалужується на два напрямки, один з яких пов'язаний з використанням антиідіотипових мереж (ґрунтується на концепції «функціональної мімікрії»), основою іншого є використання білкового інгібітора. Всі вищезазначені підходи слугують основою для створення синтетичних каталітичних антитіл з певною каталітичною активністю та специфічністю, яка цікавить дослідника.

Завдяки своїм унікальним властивостям абзими знайшли широке застосування в клінічній практиці, адже вони можуть бути вироблені для каталізу майже всіх реакцій, які відбуваються у живих системах, а також для створення принципово нових біокаталізаторів, що не мають аналогів. Слід зазначити, що більшість досліджень присвячена синтезу модифікованих каталітичних антитіл із протипухлинними властивостями, які здатні впізнавати опосередковану пухлинну тканину-мішень і вибірково її руйнувати, не пошкоджуючи при цьому здорові клітини організму. На основі таких антитіл створюються препарати терапевтичного або хімотерапевтичного призначення нового покоління з подальшим їх використанням у фундаментальній і практичній медицині.

Література

1. Kim Ю.Я. Каталітично активні антитіла (абзими) молока людини / Ю.Я. Кіт, Р.С. Стойка // Укр. біохім. журнал. — 2007. — Т. 79, № 2. — С. 5—16.
2. Генералов Р.С. Каталітично активні антитіла (абзими) / Р.С. Генералов // Укр.біохім. журнал. — 2009. — Т. 9, № 12. — С. 16—26.
3. Severine P.L. Catalytic antibodies and their applications in biotechnology: state of the art / P.L. Severine, B.N. Raouia // Biotechnol. Lett. — 2014. — V. 37, # 20. — P. 69—81.
4. Warrington A.E. Autoantibodies with enzymatic properties in human autoimmune diseases / B. Wootla, S. Lacroix-Desmazes, A.E.Warrington, A.J. Bieber, S. Kaveri, M. Rodriguez // J Autoimmun. — 2011. — V. 37, # 2. — P. 144—150.
5. Gabibov A.G. Recombinant antibodies and recombinant proteins: Prolonged-action drugs / A.G. Gabibov // Herald of the Russian Academy of Sciences. — 2016. — Т. 86, # 3. — P. 169—173.
6. Treweek J.B. An antidote for acute cocaine toxicity / J.B. Treweek, K.D. Janda // Mol. Pharm. — 2012. — V. 9, # 4. — P. 969—978.
7. Cai X. Probing active cocaine vaccination performance through catalytic and noncatalytic hapten design / X. Cai, T. Whitfield, M.S. Hixon, Y. Grant, G.F. Koob, K.D. Janda // J Med Chem — 2012. — V. 56, # 9. — P. 3701—3709.
8. Brogan A.P. Antibody-catalyzed oxidation of delta(9)-tetrahydrocannabinol / A.P. Brogan, L.M. Eubanks, G.F. Koob, T.J. Dickerson, K.D. Janda // J. Am. Chem. Soc. — 2007. — V. 129, # 15. — P. 3698—3702.

9. Goswami R.K. Multiple catalytic aldolase antibodies suitable for chemical programming. / R.K. Goswami, Z.Z. Huang, J.S. Forsyth, B. Felding-Habermann, S.C. Sinha // Bioorg Med Chem Lett. — 2009. — V. 19, # 14. — P. 3821—3824/

10. Abraham S. Synthesis of the next-generation therapeutic antibodies that combine cell targeting and antibody-catalyzed activation / S. Abraham, F. Guo, L.S. Li, C. Rader, C. Liu, C.F. Barbas, R.A. Lerner, S.C. Sinha // Proc. Nati. Acad. Sci. USA. — 2007. — V. 104, # 13 — P. 5584—5589.

БИОИНЖЕНЕРНЫЕ АСПЕКТЫ СОЗДАНИЯ КАТАЛИТИЧЕСКИХ АНТИТЕЛ

И.В. Лыч, Ю.Н. Дорошко, О.О. Бородина, В.С. Шульженко

Национальный университет пищевых технологий

Изучение антител, которые обладают каталитической активностью, является одним из современных и стремительно развивающихся направлений в области иммунологии и биотехнологии. Каталитические антитела (абзимы) — это новый тип биокатализаторов, которые относятся к классу иммуноглобулинов и имеют в своем составе гипервариабельные участки, ответственные за связывание антигена, а аминокислотные остатки принимают участие в каталитических реакциях. Первые научные исследования по получению таких антител начались в конце 80-х годов XX столетия. Толчком к реализации научных исследований послужило, с одной стороны, накопление необходимых научных знаний о молекулярных механизмах взаимодействия антител с антигенами и структуре переходного состояния, а с другой — разработка гибридной технологии получения моноклональных антител с каталитическими свойствами. После создания таких биокатализаторов учеными разработано несколько современных стратегий, основанных на биологических и химических подходах, которые являются обязательным условием для создания новых типов каталитических антител.

Ключевые слова: абзимология, биоинженерия, биокатализ, антидиотипическая сеть, ADEPT-стратегия.

УДК 338. 439. 01

MARKETING ASPECTS OF SNACK FOOD MARKET DEVELOPMENT IN UKRAINE

L. Strashynska, I. Nikolaenko

National University of Food Technologies

Key words:

*Marketing technologies
Stimulating marketing
Methods of product
promotion
Snack food market
Production volumes
Consumer demand
Negative trends
Level of consumption*

Article history:

Received 24.11.2016

Received in revised form
10.12.2016

Accepted 26.12.2016

Corresponding author:

L. Strashynska

E-mail:

vip1967@ukr.net

ABSTRACT

The article analyzes the current state and trends of the domestic snack food market based on the dynamics of production and volumes of exports and imports. The main threats of the market are defined based on the current trends. Practical recommendations for the usage of stimulating marketing tools are provided, the task of which is to find the methods of development and stimulating the demand for products which are not in demand by focusing on the characteristics of products that match consumers interests and needs. This will remove barriers to the promotion of snack food group, change the attitude of consumers to these products and will stimulate growth in their sales in the future.

МАРКЕТИНГОВІ АСПЕКТИ РОЗВИТКУ РИНКУ СНЕКІВ В УКРАЇНІ

Л.В. Страшинська, І.В. Ніколаєнко

Національний університет харчових технологій

У статті проаналізовано сучасний стан і тенденції розвитку вітчизняного ринку снєків на основі динаміки їх виробництва, а також обсягів експорту-імпорту. Визначено основні причини уповільнення зростання ринку з огляду на сучасні тенденції розвитку. Запропоновано практичні рекомендації щодо застосування інструментарію стимулюючого маркетингу, завданням якого є пошук методів розвитку і стимулювання попиту на види продукції, які не користуються попитом споживачів, шляхом акцентування уваги на ті характеристики продукції, які максимально відповідають їх зацікавленості і потребам. Це дасть змогу усунути перешкоди на шляху просування продукції снєкової групи, змінити ставлення споживачів до цих товарів і стимулюватиме зростання їх продажу в перспективі.

Ключові слова: *технології маркетингу, стимулюючий маркетинг, способи просування продукції, ринок снєків, обсяги виробництва, споживчий попит, негативні тенденції, рівень споживання.*

Постановка проблеми. У нинішніх умовах економічного розвитку одним із провідних завдань функціонування суб'єктів господарювання на ринку є набуття виняткових конкурентних переваг. З метою отримання таких переваг ринкові гравці повинні шукати нові підходи, вміти швидко адаптовуватися та переорієнтовуватися в ситуаціях невизначеності та ринкової нестабільності. Саме застосування маркетингових принципів як філософії бізнесу сучасних підприємств дає змогу їм розширювати виробництво й збут своєї продукції, завойовуючи симпатії споживачів.

У період інтенсивного розвитку маркетингових технологій протягом останніх років привернення уваги споживачів вітчизняними товаровиробниками все більше здійснюється за допомогою нестандартних підходів і способів просування виробленої продукції. Не став винятком і вітчизняний ринок снєків, основні гравці якого протягом останніх років широко використовують технології івент-маркетингу, медіа-маркетингу (SMM), мобільного та інших видів маркетингу. Проте застосування методів стимулюючого й трейд-маркетингу в діяльності вітчизняних підприємств, які здійснюють свою діяльність на ринку снєків, не знаходить свого широкого впровадження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Маркетинговим аспектам розвитку ринку присвятили свої праці провідні зарубіжні й вітчизняні науковці: С. Адамс, Л. Армстронг, М.Дж. Беккер, С. Займан, Ф. Котлер, Ж.-Ж. Ламбен, М. Портер, Л. Балабанова, А. Войчак, С. Гаркавенко, А. Зозульов, Є. Крикавський, Є. Майовець, А. Павленко, А. Старостіна та багато інших. Маркетингові підходи в управлінні підприємств вітчизняного продовольчого ринку знайшли своє віддзеркалення в працях О. Бутнік-Сіверського, Б. Данилишина, О. Гойчук, О. Драган, А. Заїнчковського, Т. Мостенської, Б. Пасхавера, П. Саблука, Н. Соломянюк, В. Топіхи, І. Федулової, В. Чеботарьова, Л. Чернюк, В. Юрчишина та багатьох інших. Проте в більшості випадків в економічній літературі розглядаються маркетингові аспекти розвитку традиційних для України ринків: молока, м'яса і м'ясопродуктів, хліба і хлібобулочних виробів, пива і безалкогольних напоїв, олії та інших. І досить незначне місце в цьому переліку займає ринок снєків, який з точки зору його аналізу, окреслення проблем та шляхів їх вирішення майже не цікавить більшість науковців, що визначає актуальність пропонованого дослідження.

Мета дослідження: проаналізувати тенденції розвитку вітчизняного ринку снєків, окреслити основні проблеми та надати практичні рекомендації щодо стимулювання прискореного розвитку ринку на основі впровадження маркетингових підходів.

Виклад основних результатів дослідження. Ринок снєків є досить нетрадиційним для України як з точки зору його продукції, так і проблем функціонування й розвитку. Сутнісне наповнення поняття «снєк» є досить різноманітним, адже в різні часи, серед різних національностей та в різних країнах досить різні продукти мали одну і ту ж назву. Саме поняття «снєк» на ринку харчових продуктів з'явилося досить недавно — в середині 90-х років ХХ століття. «Snack» в перекладі з англ. мови означає «легка закуска», головне завдання якої — швидко тимчасово здолати почуття голоду між основними прийомами їжі. На теперішній час снєки є найпопулярнішим видом закусок у всьому світі через прискорення ритму життя великих міст і мегаполісів, а їх

продаж відбувається практично в кожній торговельній мережі планети через зручність і швидкість вгамування голоду. Снеки розраховані на тривалий термін зберігання, зазвичай мають привабливу упаковку та зовнішній вигляд.

У цілому їжа, яка відноситься до снеків, на думку певної категорії споживачів, не сприяє здоровому харчуванню, її поживна цінність вкрай невелика і на теперішній час, коли тенденції здорового способу життя охоплюють усе більшу кількість споживачів, в їх раціоні місце для снеків практично відсутнє. Інша група споживачів схиляється до того, що світові тенденції, вносячи свої корективи в розвиток ринку, сприяють розвитку снекової продукції в напрямку «оздоровлення» й «натуралізації», і частка прихильників зернових пластівців, горіхів, насіння, фруктів та овочів у світі неухильно зростає.

Світові тенденції розвитку ринку снеків свідчать про те, що калорійні та непоживні снеки все більше витісняються з ринку «натуральними». Підприємства, які спеціалізуються на виробництві снеків, приносять своїм власникам багатомільйонні прибутки, а обсяги реклами цієї продукції вже давно побили всі рекорди порівняно з рекламою звичайної, поживної їжі, яка вживається під час сніданку, обіду чи вечері.

Першим снеком вважають цукрову вату, пізніше з'явилися автомати з поп-корном. Зараз ринок снеків охоплює: горіхи (в основному арахіс і фундук), соняшникове насіння, сухарики (із білого та житнього хліба), чипси, сушено-в'ялені морепродукти (в основному з невеликих видів риби та кальмари). Стрімкий розвиток цього ринку призводить до того, що до звичайних видів снеків додаються нові, нетрадиційні, такі як креветки, сухофрукти (у тому числі й екзотичні), горішки в йогурті та інші.

Український ринок снекових виробів, який почав свій розвиток в кінці 1990-х років, відзначився досить швидкими темпами зростання. Спочатку динаміка зростання сегмента снеків вражала аналітиків — зростання досягало 200—300% на рік. Це пояснювалося тим, що вітчизняний ринок снеків був досить молодим і ненасиченим, представленим на початку свого розвитку здебільшого чипсами і солоним арахісом. З часом асортимент снекової продукції досить швидко розширився, а український споживач активно почав вживати новинки, не звертаючи особливої уваги на ціну. На початку 2000-х років темпи росту ринку дещо уповільнились і склали 25—30% у грошовому виразі та 5—10% в натуральному.

У цілому обсяг українського ринку за основними снековими категоріями складає: сухарики — 400 млн грн, чипси — 1 млрд грн, соняшникове насіння — 500 млн грн, горіхи та сушена риба — по 600 млн грн відповідно [9].

Частка нарізних чипсів з кожним роком зменшується в середньому на 2%, також зменшується частка морепродуктів, фісташок і пластинчатих чипсів, при цьому сегмент арахісу залишається приблизно на одному і тому ж рівні, а сегмент сухариків та іншої снекової продукції (насіння, екструзійних продуктів) з кожним роком зростає. Сухарики та насіння менш за все підпадають під фактор сезонності, на обсяги їх продажу також впливає низька ціна. Стосовно продажу по регіонах, то тенденції свідчать, що в Західній Україні надають перевагу сухарикам, а в східній — в основному насінню.

За даними підприємств, які працюють на цьому ринку, річний обсяг ринку снеків складає 400—500 млн дол. США [9].

Ринок снєків в Україні на 90% забезпечують вітчизняні виробники. На сьогодні основними представниками на снєковому ринку України є компанії: «Снєк Експорт», «Захід», «Крафт Фудз Україна», «Frito Lay», «Техноком», «Лігос». Дані компанії пропонують споживачам відомі бренди снєкової продукції, широкий асортимент. Використання сучасного виробництва, яке знаходиться в Україні, дає змогу гарантувати стабільно високу якість вироблюваної продукції. Маючи представництва по всій Україні, компанії тісно співпрацюють з національними мережами, розгортаючи на ринку потужну маркетингову діяльність.

У табл. 1 представлено обсяги вітчизняного виробництва основних видів снєків протягом 2013—2014 рр.

Таблиця 1. Виробництво основних видів снєків в Україні протягом 2013—2014 рр., тис. т

Продукція	Виробництво		Відхилення	
	2013 р.	2014 р.	абсолютне, тис. т	відносне, %
Горіхи, насіння	25,2	24,2	–1,0	96,0
Картопляні чипси	34,6	36,0	1,4	104,0
Сухарики, грінки	50,9	49,5	–1,4	97,2
Риба сушена та в'ялена	1,5	0,9	–0,6	60,0
Продукти, отримані шляхом екструзії або розпушуванням тіста	1,1	1,3	0,2	118,2
Сушені фрукти, цитрусові та тропічні плоди	0,3	0,1	–0,2	33,3
Всього	113,6	112,0	–1,6	98,6

Як свідчать дані табл. 1, виробництво снєків у 2014 р. порівняно з 2013 р. дещо зменшилось — на 1,6 тис. т, або на 1,4% і склало 112 тис.т. Така ситуація була зумовлена зниженням виробництва горіхів, насіння — на 1,0 тис. т (або 4%), сухариків, грінок — на 1,4 тис. т (або 2,8%), риби сушеної та в'яленої — на 0,6 тис. т (або 40%), сушених фруктів, цитрусових і тропічних плодів — на 0,2 тис. т (або 66,7%). Позитивно не вплинуло на загальну тенденцію збільшення виробництва за такими товарними категоріями, як картопляні чипси — на 1,4 тис. т (або 4,0%), та продукти, отримані шляхом екструзії або розпушуванням тіста, — на 0,2 тис. т (або 18,2%).

Для більш детального аналізу стану ринку проаналізуємо динаміку виробництва основних видів продукції снєкової групи протягом 2007—2014 років.

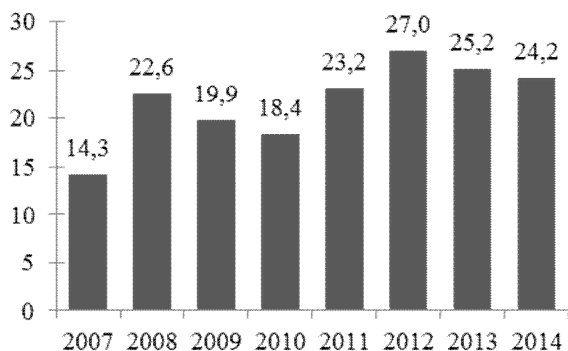


Рис. 1. Виробництво горіхів, арахісу та іншого насіння жареного, солоного й обробленого в Україні, тис. т

Як свідчать дані, наведені на рис. 1, виробництво горіхів, арахісу та іншого насіння жареного, солоного та обробленого в Україні протягом 2007—2014 рр. в цілому збільшилось з 14,3 до 24,2 тис. т (або на 69,2%), проте стабільного зростання протягом досліджуваних років не спостерігалось. Періоди 2008—2010 рр. та 2012—2014 рр. відзначаються спадом виробництва і, відповідно, споживання. Періоди 2007—2008 рр. і 2010—2012 рр. характеризувались зростанням виробництва з 14,3 до 22,6 тис. т (або 58,0%) та з 18,4 до 27,0 тис. т (або 46,7%) відповідно.

Динаміка виробництва сухариків, грінок та аналогічних підсмажених виробів в Україні за аналогічний період представлена на рис. 2.

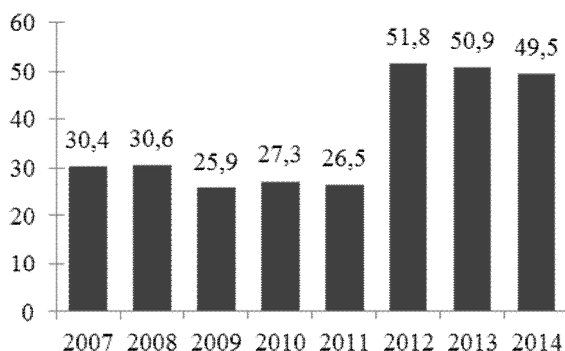


Рис. 2. Виробництво сухариків, грінок і аналогічних підсмажених виробів, тис. т

Дані рис. 2 свідчать про позитивну в цілому динаміку виробництва цієї продукції протягом 2007—2014 рр., зокрема зростання склало 19,1 тис. т (або 62,8%). Проте загальні тенденції засвідчують досить незначне коливання виробництва протягом 2007—2011 рр., стрімке зростання виробництва у 2012 р. — на 25,3 тис. т (або майже в 2 рази) порівняно з рівнем попереднього року, а потім поступове зменшення виробництва протягом 2012—2014 рр. — з 51,8 до 49,5 тис. т (або на 4,4%).

Виробництво картопляних чипсів в Україні протягом 2007—2014 рр. представлено на рис. 3.

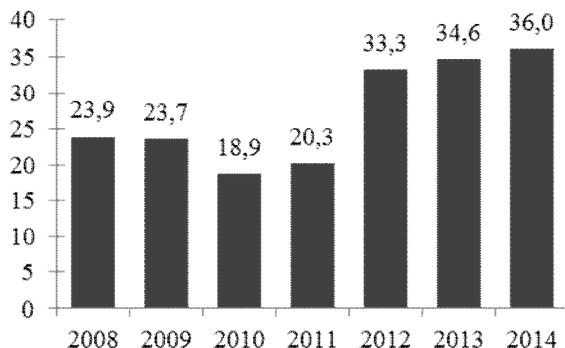


Рис. 3. Виробництво картопляних чипсів, тис. т

Динаміка виробництва цієї продукції в певній мірі схожа на динаміку виробництва сухариків, грінок та аналогічних підсмажених виробів, проте картопляні чипси — це практично єдиний вид продукції, виробництво якого характеризується стійкими темпами зростання протягом останніх років. За цією продукцією період 2008—2009 рр. характеризувався певною стабільністю на рівні 23,9—23,7 тис. т, потім упродовж 2010—2011 рр. — незначним спадом на рівні 18,9—20,3 тис. т, починаючи з 2011 р., спостерігається стійка тенденція до зростання — з 20,3 до 36,0 тис. т (або 77,3%).

Динаміку виробництва в Україні риби та рибного філе в'яленого, сушеного або соленого характеризує рис. 4.

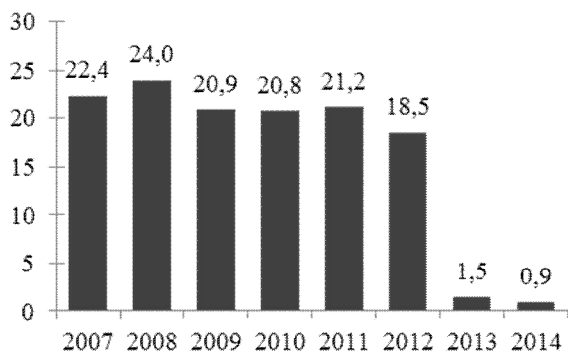


Рис. 4. Виробництво риби і рибного філе в'яленого, сушеного або соленого, тис. т

Порівнюючи виробництво цієї продукції протягом останніх років, слід зазначити, що хоча період 2007—2008 рр. характеризувався незначною стабільністю (22,4—24,0 тис. т), однак після 2008 р. почався період спаду виробництва — з 24,0 до 0,9 тис. т у 2014 р. (у 2,7 раза). Досить фатальним періодом для цієї групи продукції виявився період 2013—2014 рр. (1,5 і 0,9 тис. т відповідно). Таким чином, виробництво снєків із риби протягом досліджуваного періоду різко втратило свої позиції, що пов'язано з досить високою ціною на цей вид продукції порівняно з іншими, а також зменшенням споживання пива, слабоалкогольних та алкогольних напоїв.

Отже, провівши аналіз динаміки виробництва продукції снєкової групи, можна констатувати, що практично для всіх видів період 2007—2008 рр. характеризувався певною стабільністю, 2009—2011 рр. — незначним спадом, 2012 р. — різким піднесенням (за винятком виробництва риби і рибного філе), а потім поступовим скороченням виробництва (за винятком виробництва картопляних чипсів).

У табл. 2 представлено обсяги експорту та імпорту снєків у 2013—2014 рр.

Таблиця 2. Обсяги експорту-імпорту снєків в Україні протягом 2013—2014 рр., тис. т

Продукція	Експорт		Відхилення		Імпорт		Відхилення	
	2013 р.	2014 р.	абсол.	відн. %	2013 р.	2014 р.	абсол.	відн. %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Горіхи, насіння	14,3	13,1	-1,2	91,6	1,6	1,5	-0,1	93,8

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Картопляні чипси	7,1	6,7	-0,4	94,4	4,8	6,1	1,3	127,1
Сухарики, грінки	3,4	4,9	1,5	144,1	0,4	0,5	0,1	125,0
Риба сушена та в'ялена	0,04	0,02	-0,02	50,0	1,2	0,7	-0,5	58,3
Продукти, отримані шляхом екструзії або розпушуванням тіста	0,3	0,3	0	100,0	1,0	1,4	0,4	140,0
Сушені фрукти, цитрусові та тропічні плоди	1,0	0,8	-0,2	80,0	14,0	16,8	2,8	120,0
Всього	26,14	25,82	-0,32	98,8	23,0	27,0	4,0	117,4

Як свідчать дані, наведені у табл. 2, у 2014 р. порівняно з рівнем попереднього року експорт снєків зменшився на 0,32 тис. т (або 1,2%), в тому числі обсяги експорту зменшились за такими продуктами, як горіхи, насіння — на 1,2 тис. т. (або 8,4%), картопляні чипси — на 0,4 тис. т. (або 5,6%), риба сушена та в'ялена — на 0,02 тис. т. (або 50%), сушені фрукти, цитрусові та тропічні плоди — на 0,2 тис. т. (або 20,0%). Збільшення експорту спостерігалось лише за товарною категорією сухарики, грінки — на 1,5 тис. т. (або 44,1%), експорт продуктів, отриманих шляхом екструзії або розпушуванням тіста залишився без змін порівняно з 2013 роком.

За результатами 2015 р. прослідковується досить виражене зниження темпів росту виробництва та експорту снєків в натуральному вираженні, відповідно, на 3,2% та 0,32%. При цьому їх імпорт за зазначений період збільшився на 4%.

В Україні станом на 2015 р. найбільш затребуваним продуктом в асортименті снєків були чипси, які складають 32% від загального обсягу продажу снєків, а також сухарики — 19% та горіхи — 13% в грошовому виразі. В натуральному виразі найбільшу частку ринку займає сегмент хлібців, сухарів для тостів та аналогічних хрустких виробів — 60,5%. При цьому сушена та в'ялена риба займають близько 6,2%, а горіхи, арахіс, соняшникове насіння — 28, 5% [9].

У зв'язку з кризою українські споживачі почали зменшувати споживання снєків у своєму раціоні. Оскільки снєки не є продуктами першої необхідності, то під час кризи вони значно втратили свої позиції. Крім того, українці почали підтримувати світовий тренд здорового способу життя, при дотриманні якого немає місця їжі з пакетиків. Отже, протягом останніх років споживання так і залишається на досить низькому рівні. Якщо порівняти із світовими показниками, то середньостатистичний українець за рік споживає близько 0,5 кг снєків, в той же час як американці — 11 кг, японці — 5 кг, а мешканці Західної Європи — 3,6 кг на людину [9].

Зважаючи на неоднозначне ставлення споживачів до продукції снєкової групи, та з метою розширення відповідного ринку і збільшення прибутків підприємств пропонується впровадження інструментарію стимулюючого

маркетингу, основним завданням якого є пошук методів розвитку і стимулювання попиту на продукцію, яка користується низьким попитом серед споживачів.

Завданнями стимулюючого маркетингу є:

- аналіз і дослідження причин, що призводять до відсутності попиту;
- впровадження засобів провокування попиту;
- стимулювання зацікавленості споживачів;
- розробка методів і порівняння переваг окремих видів продукції з потребами споживачів та переорієнтація продукції на ці потреби.

Використовуючи інструменти стимулюючого маркетингу фахівці з маркетингу повинні змінити негативне ставлення до продукції снекової групи шляхом орієнтування уваги передбачуваних покупців саме на ті характеристики продукції, які максимально відповідають їх зацікавленості і потребам, при цьому усуваючи перешкоди на шляху до його просування.

Стимулюючий маркетинг передбачає впровадження таких заходів:

- розробка нових товарів;
- видозміна або модифікація вироблюваних товарів;
- зняття з виробництва товарів, які не користуються попитом;
- визначення оптимального асортименту товарів;
- пошук можливих шляхів застосування товарного знака;
- розробка нової, більш привабливої упаковки та маркування продукції;
- проведення заходів стимулюючого характеру з метою розширення ринку збуту;

- налагодження взаємозв'язку з покупцями вже після здійснення купівлі.

Реалізація цих заходів повинна підкріплюватись також зниженням вартості продукції, ефективною рекламою продукції, а також застосуванням торгового (трейд) маркетингу. Впровадження трейд-маркетингу, основним завданням якого є стимулювання збуту продукції, дозволить збільшити продажі за рахунок впливу на товаропровідний ланцюг.

Впровадження механізмів торгового маркетингу підприємствами, які функціонують на ринку снеків, дасть змогу не лише збільшити обсяги продажу та прибутку в короткостроковому періоді та перспективі, але й сприятиме створенню загального позитивного іміджу як компанії-виробника, так і продукції, яка нею виробляється.

Інструменти трейд-маркетингу, які можуть бути застосовані підприємствами, такі:

- безпосереднє стимулювання збуту товарів;
- надання бонусів, знижок для учасників товаропровідного ланцюга;
- привернення уваги покупців у вигляді подарунків при покупці, розіграші призів;
- застосування мерчандайзингу, який включає контроль і реалізацію товарів у місцях збуту, консультування, ознайомлення потенційних покупців з оновленням продукції в магазинах і торговельних мережах, проведення акцій, презентацій та конкурсів;
- впровадження особливих трейд-маркетингових заходів, а саме: товарних виставок і презентацій, семінарів, конференцій і тренінгів для персоналу й торговельних посередників.

Висновки

Незважаючи на погіршення економічної ситуації в країні та зниження купівельної спроможності населення, вітчизняні та зарубіжні виробники зацікавлені в постійному збільшенні продажів своєї продукції, проте низький рівень споживання продукції снекової групи, яка в уявленні більшої частини споживачів асоціюється з швидким низькоякісним харчуванням, не сприяє розвитку цього ринку. Аналіз ринку снеків показав, що виробництво цієї продукції в цілому у 2014 р. порівняно з 2013 р. зменшилось на 1,6 тис. т, або на 1,4%. Зниження обсягів відбулося практично за всіма основними продуктами, за винятком картопляних чипсів (+1,4 тис. т) та продуктів, отриманих шляхом екструзії або розпушуванням тіста (+0,2 тис. т). Експорт снеків за цей же період зменшився на 0,32 тис. т (або 1,2%). Збільшення експорту спостерігалось лише за товарною категорією сухарики, грінки — на 1,5 тис. т. (або 44,1%), експорт продуктів, отриманих шляхом екструзії або розпушуванням тіста, залишився без змін. За результатами 2015 р. Прослідковується досить виражене зниження темпів росту виробництва й експорту снеків у натуральному вираженні, відповідно, на 3,2% та 0,32% порівняно з рівнем попереднього року. При цьому їх імпорт за зазначений період збільшився на 4%.

У сучасному світі, коли дієти і контроль за вагою стали постійним явищем, асортимент снекових продуктів все більше розширюється за рахунок зернових пластівців, сушених фруктів, овочів тощо. З огляду на те, що кількість конкурентів, які працюють на вітчизняному ринку снекової продукції, збільшується, можливість їх подальшого ефективного функціонування буде пов'язана з розширенням асортиментної лінійки «здорових» снеків при поступовій зміні відношення споживачів до продуктів снекової групи та формуванні культури споживання. Це може бути досягнуто за рахунок впровадження нестандартних підходів до просування продукції за допомогою інструментів стимулюючого маркетингу, який спрямований на розширення попиту на продукцію, що майже не цікавить більшу частину споживачів. Застосування механізмів стимулюючого маркетингу повинно підкріплюватись також зниженням вартості продукції, ефективною рекламою продукції, а також застосуванням торгового (трейд) маркетингу, впровадження якого дасть змогу збільшити продажі за рахунок впливу на товаропровідний ланцюг.

Література

1. Головка Н.В. Стимулювання збуту: теорія, практика і перспективи / Н.В. Головка. Міжнародний інститут менеджменту. — Київ, 2010. — 98 с.
2. Майовець Є. Маркетинг: теорія та методологія: навч. посібник / Є Майовець. — Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2015. — 450 с.
3. Мочерний С.В., Ларіна Я.С., Устинко О.А., Юрій С.І. Економічний енциклопедичний словник: У 2 т. Т.1 / За ред. С.В. Мочерного. — Львів: Світ, 2005. — 616 с.
4. Ремезь Ю. Механізм формування інтегрованих маркетингових комунікацій / Ю. Ремезь // Маркетинг в Україні. — 2010. — № 3. — С. 9—43.
5. Офіційний сайт міжнародного дослідницько-статистичного центру Євромонітор [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.euromonitor.com>.

МАРКЕТИНГОВЫЕ АСПЕКТЫ РАЗВИТИЯ РЫНКА СНЕКОВ В УКРАИНЕ

Л.В. Страшинская, И.В. Николаенко

Национальный университет пищевых технологий

В статье проанализированы современное состояние и тенденции развития отечественного рынка снеков на основе динамики их производства, а также объемов экспорта-импорта. Определены основные причины замедления роста рынка, учитывая современные тенденции развития. Предложены практические рекомендации по применению инструментария стимулирующего маркетинга, задачей которого является поиск методов развития и стимулирования спроса на виды продукции, которые не пользуются спросом потребителей, путем акцентирования внимания на характеристики продукции, которые максимально соответствуют их заинтересованности и потребностям. Это позволит устранить препятствия на пути продвижения продукции снековой группы, изменить отношение потребителей к этим товарам и стимулировать рост их продаж в перспективе.

Ключевые слова: *технологии маркетинга, стимулирующий маркетинг, способы продвижения продукции, рынок снеков, объемы производства, потребительский спрос, негативные тенденции, уровень потребления.*

ACTUAL CHANGES IN LOCAL FINANCES

S. Esh, V. Holovina

National University of Food Technologies

Key words:	ABSTRACT
<i>Local finances</i> <i>Intergovernmental relations</i> <i>Local government Transfers</i> <i>Subsidies</i> <i>Subventions</i>	The article discusses the theoretical aspects of modern changes in local finances and analyzes their situation in Ukraine during 2014—2016. The state of local finances in current economic conditions is studied mostly using such categories as local government, intergovernmental relations, income and expenditures of local budgets, fiscal decentralization. Local finances are seen as an institution that was formed on democratic principles to ensure the independence of administrative and territorial units. This institution affects all processes in the country: social and economic, political, financial, environmental, so it is important to identify the problems that affect the development of these processes and find solutions. The dynamics of key indicators on local finances was reviewed; the indicators having the most significant impact on local government were outlined. The analysis of current changes in local finances related to the decentralization process and the approval of the concept of local governance by the Cabinet of Ministers was conducted. The key factors of influence and development prospects of local finances were defined.
Article history: Received 05.11.2016 Received in revised form 21.11.2016 Accepted 15.12.2016	
Corresponding author: S. Esh E-mail: npnuht@ukr.net	

СУЧАСНІ ЗМІНИ У СФЕРІ МІСЦЕВИХ ФІНАНСІВ

С.М. Еш, В.В. Головіна

Національний університет харчових технологій

У статті розглянуто теоретичні аспекти сучасних змін у сфері місцевих фінансів, проаналізовано їх стан в Україні протягом 2014—2016 років. Оцінено динаміку основних показників розвитку місцевих фінансів, серед яких виокремлено ті, які здійснюють найсуттєвіший вплив на місцеве самоврядування. Проведено аналіз сучасних змін у сфері місцевих фінансів, які пов'язані з процесами децентралізації, а також з розпорядженням Кабінету Міністрів України щодо схвалення Концепції реформування місцевого самоврядування. Визначено основні фактори впливу та перспективи подальшого розвитку місцевих фінансів.

Ключові слова: *місцеві фінанси, міжбюджетні відносини, місцеве самоврядування, трансферти, дотації, субвенції.*

Постановка проблеми. В сучасних умовах розвитку України значно посилюється роль фінансів місцевого самоврядування. Майже на кожному

засіданні Верховної Ради приймаються зміни до Бюджетного кодексу, системи оподаткування, які стосуються фінансового забезпечення місцевих бюджетів. Виникає необхідність розширення та зміцнення фінансової бази місцевих органів влади, на які покладено виконання своїх повноважень відповідно до чинного законодавства України. Одним із основних механізмів, що забезпечує стимулювання соціально-економічного розвитку країни, є міжбюджетні відносини як головна складова місцевих фінансів. Існуюча система місцевих бюджетів і відносин між ними нездатна забезпечити фінансову спроможність органів місцевого самоврядування, оскільки надходження від місцевих податків і зборів не є і не можуть бути достатнім джерелом доходів місцевого бюджету через їхній незначний податковий потенціал. Зростання добробуту населення, стимулювання соціально-економічного розвитку регіонів можливе лише за умов формування ефективного механізму системи місцевих фінансів: надходжень до місцевих бюджетів, результативне використання видатків, налагоджена співпраця між інститутами місцевого самоврядування, компетентне прийняття управлінських рішень на місцевому рівні тощо. Для забезпечення фінансової спроможності органів місцевого самоврядування в останні роки в Україні відбуваються процеси децентралізації місцевих фінансів. На жаль, існуюча система місцевих фінансів у країні не задовольняє потреби суспільства, правове регулювання не відповідає принципам Європейської хартії. Реформування системи місцевих фінансів все ще залишається проблемною ланкою в бюджетному процесі, що й зумовлює актуальність їх дослідження.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженню теоретичних і практичних аспектів складових системи місцевих фінансів присвячені праці як зарубіжних, так і вітчизняних вчених (В.М. Федосов, С.М. Фролов, Ш. Бланкарат, Р. Міллер). Питання державного і місцевих бюджетів, міжбюджетних відносин, фінансової самостійності місцевих бюджетів досліджували вітчизняні економісти-фінансисти Д.А. Козак, О.Д. Василик, Л.К. Воронова, А.С. Буряченко, С.І. Юрій, М.П. Палій, Л.Б. Рябушка та інші. Однак на сьогодні залишаються недостатньо опрацьованими складові системи місцевих фінансів і зміни, що пов'язані з ними.

Метою статті є аналіз сучасних змін у сфері місцевих фінансів в Україні, а також дослідження їх складових, особливостей розвитку доходів місцевих бюджетів і джерел їх формування.

Викладення основних результатів дослідження. Сучасні зміни у сфері місцевих фінансів в Україні характеризуються змінами у міжбюджетних відносинах, місцевих податках і в доходах місцевих бюджетів. Одним із найважливіших завдань розвитку української державності є реформа місцевого самоврядування [1].

Реформа міжбюджетних відносин та інших складових місцевих фінансів розпочалася ще в 2014 р. і спрямована на формування спроможних територіальних громад, забезпечення бюджетної незалежності та фінансової самостійності місцевих бюджетів і закріплення за ними стабільних джерел надходження [1]. Нові зміни відбуваються в процесі децентралізації видат-

кових повноважень, при розподілі компетенцій (кола повноважень органів влади), які сформовані за принципом субсидіарності; надаються нові види трансфертів і посилюється відповідальність профільних міністерств за реалізацію державної політики у відповідних галузях — все це направлено на формування нового механізму бюджетного регулювання, нової системи фінансового вирівнювання.

Зміни у сфері місцевих фінансів передбачають нову систему горизонтального вирівнювання податкоспроможності територій з одночасним стимулюванням до нарощування дохідної бази взамін системи збалансування, яка використовувалася до початку реформи.

Необхідно зазначити, що реформою було запроваджено нові види міжбюджетних трансфертів, серед яких базова та реверсна дотації, нові види субвенцій: освітня, медична, на підготовку робітничих кадрів і на забезпечення медичних заходів окремих державних програм [2].

Розглянемо, на які бюджети розповсюджуються нові види міжбюджетних трансфертів (табл. 1).

Таблиця 1. Нові види міжбюджетних трансфертів

Державний бюджет	Обласні бюджети	Бюджет м. Києва	Бюджети міст обласного значення, районів	Бюджети об'єднаних територіальних громад
Базова дотація	+		+	+
Освітня субвенція	+	+	+	+
Субвенція на підготовку робітничих кадрів	+	+		
Медична субвенція	+	+	+	+
Субвенція на забезпечення медичних заходів окремих державних програм	+	+		
Реверсна дотація з місцевих бюджетів державному бюджету	+		+	+

Як свідчать дані, наведені у табл. 1, базова дотація (трансферт, що надається з державного бюджету місцевим для горизонтального вирівнювання податкоспроможності територій) передбачена для бюджетів усіх рівнів, крім бюджету м. Києва. Для всіх бюджетів передбачені освітня і медична субвенції. Вперше, відповідно до вимог Концепції реформи місцевого самоврядування, передбачено реверсну дотацію (кошти, що передаються до державного бюджету з місцевих бюджетів для горизонтального вирівнювання податкоспроможності територій), яку можуть використовувати всі місцеві бюджети, крім бюджету м. Києва [2].

Залишки коштів субвенцій зберігаються на рахунках місцевих бюджетів і використовуються в наступному бюджетному періоді з урахуванням цільового призначення субвенції та на оновлення матеріально-технічної бази відповідних закладів.

У табл. 2 узагальнено найпоширеніші види субвенцій, які виділялись для місцевих бюджетів протягом першого півріччя 2015—2016 рр. і проведено аналіз цих надходжень.

Таблиця 2. Аналіз субвенцій місцевих бюджетів (млн грн)

Вид трансферту	Рік		Відхилення	
	2015	2016	Абсолютне	Відносне, %
Субвенції на здійснення державних програм соціального захисту населення	69,5	92,6	23,1	33,2
Медична субвенція	44,7	50,6	5,9	13,2
Освітня субвенція	41,8	48,6	6,8	16,3

Дані, наведені у табл. 2, свідчать про позитивні тенденції розвитку місцевих фінансів. Адже наведені види трансфертів збільшуються у своїх обсягах в 2016 р. порівняно з попереднім роком. Найбільше збільшення спостерігається щодо надходжень субвенцій на здійснення державних програм соціального захисту населення — на 23,1 млн грн, або на 33,2%.

У частині децентралізації фінансових ресурсів передбачені зміни в системі оподаткування. Так, змінюються обсяги питомих надходжень до місцевих бюджетів, також змінюється трансфертна політика, особливо в частині отримання трансфертів від різних суб'єктів. Спостерігаємо зміни і в бюджетній системі — підвищується рівень відповідальності органів місцевого самоврядування щодо наповнення місцевих бюджетів, також їм надається більше повноважень у напрямку розробки та реалізації різноманітних програм соціально-економічного розвитку.

Зміни, що відбулися у сфері місцевих фінансів у частині доходів, вплинули на розширення джерел наповнення місцевих бюджетів. Таке розширення відбувається за рахунок [3]:

1) передачі доходів з державного бюджету (100% плати за надання адміністративних послуг, 100% державного мита, 10% податку на прибуток підприємств приватного сектору економіки);

2) запровадження акцизного податку з реалізації суб'єктами господарювання роздрібною торгівлю підакцизних товарів (пиво, алкогольні напої, тютюнові вироби, нафтопродукти) за ставкою 5% вартості реалізованого товару;

3) розширення бази оподаткування податку на нерухомість шляхом включення до оподаткування цим податком комерційного (нежитлового) майна та автомобілів з великим об'ємом двигуна;

4) збільшення нормативу зарахування до місцевих бюджетів екологічного податку з 35% до 80%.

Також за місцевими бюджетами закріплено стабільні джерела доходів, а саме [2]:

- встановлено єдині нормативи відрахувань загальнодержавних податків (податку на доходи фізичних осіб і податку на прибуток підприємств) за кожною ланкою бюджету;

- відмінено індикативне планування Міністерством фінансів України показників місцевих бюджетів і доведення їх до місцевих бюджетів;

- передбачено формування єдиного кошика доходів загального фонду;

- розширено перелік джерел доходів загального фонду;

- замінено систему збалансування доходів і видатків місцевих бюджетів принципово новою системою вирівнювання податкоспроможності територій.
Розширений перелік джерел доходів загального фонду місцевих бюджетів наведено у табл. 3 (дані наведено за 2015 р.)

Таблиця 3. Розширення дохідних джерел загального фонду місцевих бюджетів протягом 2015 року, млрд грн

Показник		Сума
1	<i>Перерозподіл загальнодержавних податків і зборів:</i>	3,5
	- державного мита;	0,4
	- 10% податку на прибуток підприємств приватного сектору економіки	3,1
2	<i>Нові платежі:</i>	8,1
	- збір з роздрібного продажу підакцизних товарів за ставкою 5% вартості реалізованого товару	8,1
3	<i>Передача з бюджету розвитку місцевих бюджетів</i>	9,9
	- єдиний податок;	5,9
	- податок на майно (оподаткування комерційної нерухомості та автомобілів із великим об'ємом двигуна);	0,8
	- передача зі спеціального фонду екологічного податку (крім радіактивних відходів) з одночасним збільшенням нормативу зарахування до 80% (діюча норма — 35%)	3,2
	Всього	21,5

Згідно з даними, наведеними у табл. 3, в 2015 р. порівняно з 2014 р. додатковий ресурс місцевих бюджетів склав 21,5 млрд грн. Цей показник є позитивним і характеризує зміни, що відбуваються, як доцільні та ефективні.

Не обійшли зміни і податкову систему України. Відповідно до нового бюджетного законодавства, бюджети сіл, селищ, міст районного значення в результаті реформи повинні отримати [3]:

- 1,5% від обсягу продажу продукції;
- 25% екологічного податку;
- 90% коштів від продажу земель несільськогосподарського призначення та інші доходи;
- 100% акцизного податку, єдиного податку, податку на майно, туристичного збору, плати за надання адміністративних послуг, рентної плати за користування надрами місцевого значення, збору за паркування, податку на прибуток, плати за ліцензії та за державну реєстрацію, дивідендів, адміністративних штрафів і штрафних санкцій, місцевих позичок та плати за видачу місцевих гарантій, власних доходів бюджетних установ;

Об'єднані громади, бюджети яких прирівнюються до бюджетів міст обласного значення і районів, крім зазначених податків, одержуватимуть ще й 60% ПДФО, а також кошти державного фонду регіонального розвитку.

Зміна податкової системи відіграє важливу роль у формуванні місцевих бюджетів, проте регіони повинні мати свої джерела надходження та доходи місцевих бюджетів, які спроможна забезпечити лише реальна економіка.

В останні два роки на перший план виходять питання, пов'язані з бюджетною децентралізацією. Є надія, що саме децентралізація забезпечить ефективну участь місцевої влади у розвитку громад, відбудеться узгодження бюджетних

видатків з місцевими потребами та пріоритетами, що прискорить ефективну реалізацію державних функцій.

У рамках бюджетної децентралізації передбачено вирішення таких завдань, як: запровадження максимального рівня прозорості використання бюджетних коштів органами місцевого самоврядування; перегляд і чітка структуризація переліку власних та делегованих повноважень; перехід до системи цільових трансфертів, спрямованих на компенсацію видатків органів місцевого самоврядування в результаті реалізації ними делегованих функцій; запровадження формульного розрахунку перерозподілу національних податків, закріплених за місцевими бюджетами, а також розширення фінансової бази органів місцевого самоврядування. У рамках бюджетної децентралізації планується перейти на нову модель використання бюджетних коштів — від утримання державних і комунальних закладів до оплати відповідних послуг. Запроваджується новий механізм використання галузевих субвенцій: «освітня», «медична», «на підготовку робітничих кадрів», проте до цього часу не розроблені державні стандарти надання таких послуг. Також потребують розробки і фінансові нормативи бюджетної забезпеченості витрат за відповідними стандартами надання послуг на одного жителя.

Висновки

Зміни, які були запроваджені Податковим і Бюджетним кодексами, пропонують нові підходи до визначення взаємовідносин державного бюджету з місцевими. Є надія, що такі взаємовідносини будуть сприяти розширенню прав місцевих органів влади та нададуть їм значну бюджетну самостійність.

Процес реформування складових місцевих фінансів, насамперед місцевих бюджетів України, адміністративно-територіального устрою повинен забезпечити поступове досягнення територіальної відповідальності між повноваженнями органів місцевої влади, а також доходами, що передаються їм у розпорядження та видатками відповідних бюджетів. Зміцнення бюджетної децентралізації не можна розглядати як послаблення функцій держави, навпаки, вони мають посилюватись не через використання адміністративних механізмів, а ринкових, які мають різні форми і методи їх забезпечення.

Сучасні зміни у сфері місцевих фінансів та їх складових спрямовані на подальшу розбудову і вдосконалення з метою досягнення таких цілей: [6]

- формування самодостатніх територіальних утворень;
- забезпечення фінансової незалежності органів місцевого самоврядування;
- стабілізації економічної системи;
- формування інвестиційно-інноваційної моделі суспільного розвитку;
- реалізації завдань державної регіональної політики;
- стимулювання підприємницької діяльності та інвестиційної активності;
- вирішення соціальних, демографічних, екологічних, національних та інших проблем регіонів.

Місцеві фінанси як цілісна і складна система економічних відносин набувають важливої ролі в реформуванні вітчизняної економіки, створенні основ ринкового господарювання, формуванні демократичної соціально орієнтованої держави.

Література

1. Концепція реформування місцевого самоврядування та територіальної організації влади в Україні. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 01.04.2014 №333-р [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://civil-rada.in.ua/?p=477>.
2. Бюджетний кодекс України від 08.07.2010 №2456-VI [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/2456-17>.
3. Податковий кодекс (із змінами та доповненнями) [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua>.
4. Вибіркові дані Державної служби статистики України [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://www.ukrstat.gov.ua/>.
5. Еш С.М. Розвиток міжбюджетних відносин у сучасних умовах господарювання / С.М. Еш, В.М. Ляховецька // Формування ринкових відносин в Україні. — 2016. — № 4 (179). — С. 93—97.
6. Суть реформи міжбюджетних відносин [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.epravda.com.ua>. <http://www.epravda.com.ua>.

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ В СФЕРЕ МЕСТНЫХ ФИНАНСОВ

С.Н. Эш, В.В. Головина

Национальный университет пищевых технологий

В статье рассмотрены теоретические аспекты современных изменений в сфере местных финансов, проанализировано изменение их состояния в Украине на протяжении 2014—2016 годов. Дана оценка динамики основных показателей, определяющих развитие местных финансов, среди которых выделяют те, которые имеют наибольшее влияние на местное самоуправление. Проведен анализ современных изменений в сфере местных финансов, особенно тех изменений, которые связаны с процессами децентрализации, а также с распоряжением Кабинета Министров Украины относительно принятия Концепции реформирования местного самоуправления. Также определены основные факторы, влияющие на перспективы дальнейшего развития местных финансов.

Ключевые слова: *местные финансы, межбюджетные отношения, местное самоуправление, трансферты, дотации, субвенции.*

УДК 331.5

BOSTON CONSULTING GROUP MATRIX AS A TOOL OF LABOR MARKET ANALYSIS

O. Sologub, A. Nykonenko

National University of Food Technologies

Key words:

*Personnel policy
The labor market
Marketing
Strategic analysis
The matrix of the Boston
Consulting Group*

Article history:

Received 12.11.2016
Received in revised form
26.11.2016
Accepted 06.12.2016

Corresponding author:

O. Sologub
E-mail:
o.sologub@ukr.net

ABSTRACT

The purpose of this publication is the improvement of enterprise analytic tools in the field of personnel policy. The subject of the article is the matrix of Boston Consulting Group and the opportunities to use it for the labor market research. A comparison of the Boston Consulting Group matrix use in the fields of personnel management and analysis of education activities is presented. The matrix of Boston Consulting Group is modified to research the labor market. There are six strategic areas of the modified matrix. This allows taking into account the impact of the crisis of the education system and economy. The article demonstrates the use of the matrix for the strategic analysis of the labor market in Ukraine.

МАТРИЦЯ БОСТОНСЬКОЇ КОНСАЛТИНГОВОЇ ГРУПИ ЯК ІНСТРУМЕНТ АНАЛІЗУ РИНКУ ПРАЦІ

О.П. Сологуб, А.В. Никоненко

Національний університет харчових технологій

У статті досліджено матрицю Бостонської консалтингової групи та можливості її використання для вивчення ринку праці. Проведено порівняння практики використання матриці Бостонської консалтингової групи в сферах управління персоналом та аналізу діяльності навчальних закладів. Запропоновано модифіковану матрицю Бостонської консалтингової групи, яка призначена для дослідження ринку праці. Передбачено виділення шести стратегічних зон матриці, що дає змогу врахувати вплив кризи системи освіти та економіки. Продемонстровано використання матриці для стратегічного аналізу ринку праці України.

Ключові слова: *кадрова політика, ринок праці, маркетинг, стратегічний аналіз, матриця Бостонської консалтингової групи.*

Постановка проблеми. Для сучасного ринку праці України характерна надмірна пропозиція робочої сили гуманітарних спеціальностей на тлі нестачі робітничих кадрів. При цьому якість підготовки випускників як

вищих, так і професійних навчальних закладів не відповідає потребам роботодавців у повній мірі [7; 9, с. 16]. Ситуація, що склалася, обумовлена відмінностями національної економіки України від ринкових економік розвинених країн Заходу. Мова йде про низький рівень доходів вітчизняних підприємств, який обмежує можливості їх співпраці зі сферою освіти й організації підготовки кадрів власними силами, а також менталітет населення та надмірну залежність закладів освіти від потреб абітурієнтів.

За умов хронічного характеру зазначених кризових явищ матриця Бостонської консалтингової групи (БКГ) виступає перспективним інструментом аналізу ринку праці. Її можна адаптувати для потреб стратегічного планування в кадровій політиці підприємства. Перевагами матриці виступають наочність, відносна простота побудови, конкретність запропонованих стратегій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Стосовно вивчення сфер, пов'язаних із ринком праці, матриця БКГ в адаптованому варіанті використовувалась у дослідженнях таких вчених, як А. Багаутдінова [2], С. Іванова [3], Ф. Ісмагілова [4], Н. Калюжна [5] та інших. Таким чином, потенціал використання матриці БКГ для аналізу чинників впливу на кадрову політику підприємства є досить значним. Проте на сьогодні матрицю БКГ не адаптовано для дослідження ринку праці як джерела робочої сили для підприємства, чим і обумовлена актуальність теми даної публікації.

Мета дослідження: адаптація матриці БКГ для аналізу ринку праці як джерела робочої сили з урахуванням хронічного характеру кризових явищ в економіці та на ринку освітніх послуг; проведення дослідження ринку праці України (за даними 2015 р.) як джерела робочої сили та пропозиція кадрових стратегій для тих професійних груп, які виступили об'єктами аналізу.

Виклад основних результатів дослідження. Матриця БКГ в маркетингу товарів дозволяє визначити стратегії для стратегічних-бізнес одиниць (СБО) підприємства і має вигляд, зображений на рис. 1.



Рис. 1. Матриця БКГ у маркетингу товарів [6]

Як видно з рис. 1, виділяють чотири сектори матриці [6, с. 91—92]:

- «важкі діти» — відповідні СБО діють на перспективних ринках з високим рівнем конкуренції; підприємству доцільно або здійснити значні інвестиції у розвиток цих СБО, або ж відмовитись від них;

- «зірки» — СБО з цього сектору домінують на швидкозростаючих ринках; високий рівень конкуренції призводить до того, що більша частина отриманих прибутків іде на захист ринкових позицій відповідних СБО;

- «дійні корови» — відповідні СБО є лідерами на ринках з невисокими темпами зростання; завдяки невисокому рівню конкуренції є можливість спрямувати частину отриманого прибутку на підтримку «важких дітей»;

- «собаки» — це СБО, які займають незначну частку на ринках з низькими темпами зростання; вони безперспективні і тому від них доцільно відмовитись.

А. Багаутдінова використала матрицю БКГ для вивчення основних видів діяльності вищого навчального закладу з метою розробки стратегії його подальшого розвитку, визначивши чотири види такої діяльності залежно від їх значимості в сучасних ринкових умовах і фінансових вкладень, яких вони вимагають [2].

С. Іванова запропонувала використання матриці БКГ для визначення психологічного типу осіб, який має переважати серед працівників компанії залежно від етапу її життєвого циклу [3, с. 4].

Ф. Ісмагілова адаптувала матрицю БКГ для аналізу професійного досвіду окремо взятого працівника, виокремивши групи навичок за критеріями впливу на дохід особи та розміру інвестицій, потрібних для їх формування чи підтримки [4, с. 38—48].

Н. Калюжна розробила свій варіант матриці БКГ для дослідження управлінського персоналу підприємства, виділивши основні групи співробітників залежно від їх внеску в досягнення стратегічних цілей підприємства [5, с. 290—291].

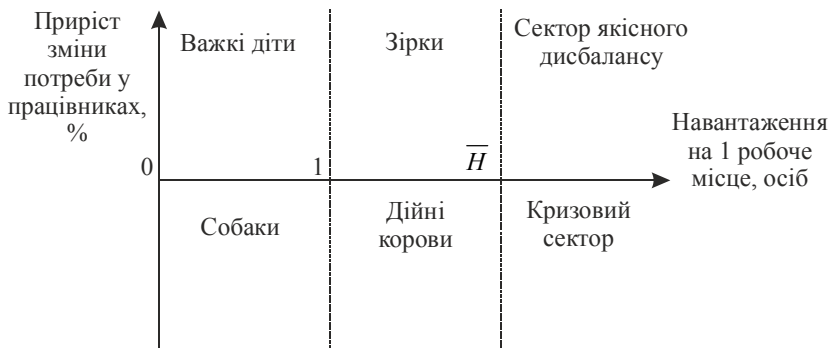
Запропонований нами підхід до використання матриці БКГ у маркетингу персоналу передбачає заміну СБО на професійні групи працівників. Як продавці розглядаються безробітні власники робочої сили, як покупці — роботодавці. Відповідно, пропозиція робочої сили вимірюється у кількості резюме, а попит на неї — у кількості вакансій.

Для побудови матриці БКГ модифікованої запропоновано використовувати такі критерії:

- навантаження на одне робоче місце (осіб) — відповідає показнику «відносна частка ринку» в аспекті відображення конкуренції між продавцями;

- приріст зміни потреби у працівниках (%) — аналогічний до темпів приросту ринку.

Модифікована матриця БКГ зображена на рис. 2.



Умовні позначення: $\bar{H}$ — це середнє навантаження на одне робоче місце, осіб

Рис. 2. Матриця БКГ для дослідження ринку праці як джерела робочої сили для підприємства, розроблено автором [8]

Як видно з рис. 2, такі сектори матриці, як «важкі діти», «собаки», «зірки», «дійні корови» є типовими для її традиційного варіанта, в той час як сектори якісного дисбалансу та кризовий є новими (табл. 1).

Таблиця 1. Характеристика секторів модифікованої матриці БКГ для дослідження ринку праці як джерела робочої сили для підприємства, розроблено авторами

Характеристика	Сектори (стратегічні зони)					
	Важкі діти	Собаки	Зірки	Дійні корови	Якісного дис-балансу	Кризовий
Попит на професію	Зростає	Знижується	Зростає	Знижується	Зростає	Знижується
Пропозиція робочої сили по професії	Низька	Низька	Оптимальна	Надмірна	Надмірна	Надмірна
Конкуренція між безробітними	Відсутня	Відсутня	Середня	Висока	Висока	Висока
Конкуренція між роботодавцями	Висока	Відсутня	Середня	Відсутня	Середня	Відсутня
Позиції роботодавців	Слабкі	Сильні	Паритет	Сильні	Сильні	Сильні
Ризик звільнення	Низький	Високий	Середній	Високий	Середній	Високий
Підготовка закладами освіти спеціалістів:						
Обсяги випуску спеціалістів	Низькі	Низькі	Середні	Високі	Високі	Середні
Якість підготовки спеціалістів	Різна	Різна	Різна	Висока	Низька	Різна

Розглянемо випадки, у яких професія потрапляє до кожного сектору з табл. 1, та відповідні стратегії роботодавця [8].

За «традиційними» секторами стратегії за змістом близькі до тих, що пропонуються в звичайній матриці БКГ.

Сектор «*Важкі діти*» включає професії, для яких характерні:

- 1) непрестижність із позицій робочої сили;
- 2) нерозвинена система підготовки кадрів.

Стратегія роботодавця стосовно таких професій включає:

- 1) вкладення коштів у профорієнтаційну діяльність, посилення співпраці з державними структурами по цьому напрямку;
- 2) інвестування в розвиток закладів освіти, укладання договорів на підготовку відповідних кадрів для власних потреб;
- 3) зменшення вимог до претендентів на робочі місця, закріплення за кожним з них наставника з числа досвідчених працівників.

Сектор «*Зірки*» акумулює професії, потрібні підприємствам та популярні серед населення, проте через взаємну невідповідність вимог роботодавців і працівників по таким напрямкам, як заробітна плата, умови праці, якість підготовки робочої сили тощо може спостерігатися плінність кадрів. Стратегія підприємства передбачає вкладення коштів у формування та підтримку іміджу привабливого роботодавця, покращення умов праці, рівня її оплати, що створює передумови для підвищення вимог до працівників.

До сектору «Дійні корови» віднесено професії, потреба роботодавців у яких вже знизилася, проте населення та система освіти на це не відреагували, внаслідок чого пропозиція робочої сили перевищує попит на неї. Збільшення конкуренції між власниками робочої сили дає змогу роботодавцю обмежити зростання заробітної плати по відповідним професіям та підвищити вимоги щодо якості підготовки і продуктивності праці.

До сектору «Собаки» потрапляють професії:

1) потреба у яких зменшується під впливом модернізації галузі чи структурних змін в економіці країни;

2) попит роботодавців на які задоволений повністю на тлі зниження популярності професій серед населення.

Потребу в професіях першої групи можна усунути шляхом модернізації чи перепрофілювання виробництва відповідно до загальних тенденцій розвитку галузі, в той час як друга група професій не вимагає вжиття заходів.

Сектор якісного дисбалансу включає потрібні роботодавцям професії, які одночасно є престижними з позицій робочої сили. Проте якість підготовки працівників є занадто низькою. Випускники ВНЗ і ПТНЗ не розглядаються як кадровий резерв, що спричиняє зростання кількості вакансій.

Стратегії роботодавців стосовно цих професій такі:

1) утримання працівників, які повністю відповідають потребам підприємства;

2) оптимізація вимог до претендентів на вакансії, відбір найкращих з них.

У кризовому секторі професія опиняється у двох випадках:

1) надмірна підготовка кадрів через кризові явища в системі освіти, які включають низьку її гнучкість, надмірну зосередженість на потребах абітурієнтів, які відрізняються від потреб економіки;

2) масові звільнення через кризові явища в економіці.

Стратегією підприємства в першому випадку має бути об'єднання зусиль з іншими роботодавцями й органами державної влади в напрямку демаркетингу відповідних професій. У другому випадку доцільно знизити ризик звільнення для тих працівників, якість роботи яких повністю відповідає потребам бізнесу.

При проведенні дослідження ринку праці за допомогою модифікованої матриці БКГ використано дані кадрового порталу «Headhunter Україна» по семи професійних сферах (табл. 2):

Таблиця 2. Вихідні дані для побудови матриці БКГ модифікованої для дослідження ринку праці як джерела робочої сили для підприємства за 2015 рік, побудовано на основі [1]

Професійні сфери	Навантаження на 1 робоче місце, осіб	Темп приросту вакансій, %
Бухгалтерія, управлінський облік, фінанси	7,8	20
Вищий менеджмент	11,4	11
Інформаційні технології, Інтернет, телекомунікації	2,0	15
Початок кар'єри, студенти	8,0	30
Продажі	1,3	28
Робочий персонал	1,2	27
Страхування	0,5	-31

Крім представлених у табл. 2 даних, для аналізу необхідно знайти показник середнього навантаження на одне робоче місце. Виходячи з того, що на порталі «Headhunter Україна» у 2015 р. було розміщено 857 696 резюме та 152 750 вакансій [1], середнє навантаження на одне робоче місце складе 5,6 особи. На основі цих даних можна побудувати матрицю БКГ (рис. 3).

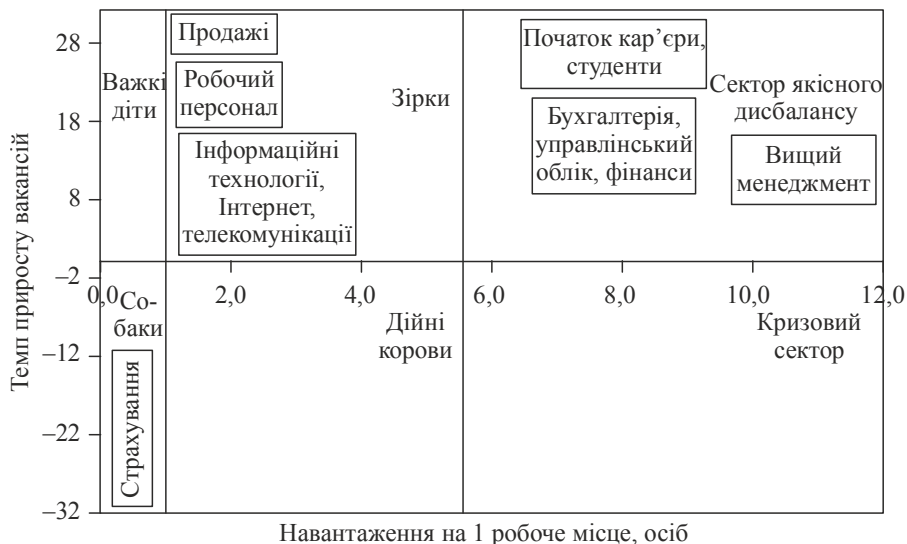


Рис. 3. Матриця БКГ модифікована за 2015 рік, побудовано авторами

Як видно з рис. 3, до сектору «Важка дитина» не потрапила жодна професійна група. Професійні сфери «Продажі», «Робочий персонал» та «Інформаційні технології, Інтернет, телекомунікації» потрапили до сектору «Зірки».

Чинником плінності кадрів для професій групи «Робочий персонал» є невідповідність якості підготовки випускників ПТНЗ вимогам роботодавців [9, с. 16, 35] на тлі недостатньо високого рівня оплати праці висококваліфікованих спеціалістів. Слід зазначити, що виходу робітничих професій із сектору «Важкі діти» свого часу сприяло зростання чисельності переселенців із зони АТО, серед яких було багато кваліфікованих робітників. Для таких осіб зростання доходів є життєво необхідним.

По професійним групам «Інформаційні технології, Інтернет, телекомунікації» та «Продажі» також спостерігається найбільше зростання побажань щодо підвищення заробітної плати [1], що часто обумовлює невідповідність робочих місць потребам робочої сили та призводить до збільшення плінності кадрів.

Відповідно, стратегія роботодавця має передбачати першочергове збільшення витрат на оплату праці всіх цих категорій працівників на тлі залучення до роботи найкращих претендентів на робочі місця, які відповідатимуть високим вимогам щодо якості праці.

Професійна сфера «Страховання» потрапила до сектору «Собаки». На підприємствах галузі відповідні працівники наявні в достатній мірі, їх рівень

підготовки відповідає потребам роботодавців. Жодних заходів по цій групі вживати не треба.

На українському ринку праці наявні професії, потрібні роботодавцям, проте такі, що характеризуються недостатньо високою якістю підготовки. Про це свідчить сектор якісного дисбалансу, до якого потрапили групи «Початок кар'єри, студенти», «Бухгалтерія, управлінський облік, фінанси», «Вищий менеджмент». Кадрова стратегія підприємства передбачатиме:

1) оптимізацію вимог щодо претендентів на вакантні робочі місця, забезпечення високої трудової віддачі від працівників з недостатнім досвідом;

2) утримання досвідчених професіоналів на підприємстві шляхом формування конкурентоспроможного соціального пакета.

Висновки

У статті вперше представлено матрицю БКГ, адаптовану до дослідження ринку праці з позицій роботодавця, яка дає змогу сформувати кадрові стратегії для різних професійних груп, в т.ч. прийняти рішення стосовно рівнів оплати праці і навантаження, гарантій зайнятості, розміру інвестицій у кожного наявного або потенційного працівника, виходячи з ситуації на ринку праці. Перспективи подальших досліджень пов'язані з глибшою деталізацією запропонованих кадрових стратегій з урахуванням значимості кожної професійної групи для діяльності підприємства.

Література

1. Барометр ринку праці 2015 року [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://domik.ua/novosti/barometr-rynka-truda-2015-n233051.html>.
2. Багаутдинова А.З. Стратегический анализ деятельности образовательной организации высшего профессионального образования (на примере КГТУ им. А.Н. Туполева) [Электронный ресурс] / А.З. Багаутдинова. — Режим доступа: <http://old.tisbi.org/science/-vestnik/2011/issue2/Bagautdinova.pdf>.
3. Иванова С.В. Искусство подбора персонала: Как оценить человека за час. — Москва : Альпина Бизнес Букс, 2004. — 160 с.
4. Исмагилова Ф.С. Анализ инструментов выбора управленческих решений руководителями российских компаний / Ф.С. Исмагилова // Психологический вестник Уральского государственного университета. — 2009. — № 7. — С. 31—48.
5. Калюжна Н.Г. Матриця диференціації управлінського персоналу як орієнтир для визначення стратегічних працівників у системі управління підприємством / Н.Г. Калюжна // Маркетинг і менеджмент інновацій. — 2012. — № 4. — С. 289—298.
6. Котлер Ф. Маркетинг менеджмент. / Ф. Котлер, К.Л. Келлер // Пер. с англ. под ред. Ю.Н. Каптуревского. — Санкт-Петербург : Питер, 2010. — 814 с.
7. Кузьмінська Л. Соціальне партнерство в управлінні професійно-технічною освітою: проблеми та перспективи інституціоналізації / Л. Кузьмінська // Молодь і ринок. — 2015. — № 8. — С. 62—65. — Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Mir_2015_8_15.
8. Никоненко А.В. Маркетингові засади кадрового забезпечення підприємств харчової промисловості : дис. на здобуття наукового ступеня кандидата економічних наук : 08.00.04 / Андрій Володимирович Никоненко. — Київ, 2015. — 242 с.
9. Про результати аудиту ефективності використання коштів державного бюджету на підготовку робітничих кадрів : [бюлетень] / Рахункова палата України / Я.А. Фліссак (відп. за випуск). — Київ : Рахункова палата України, 2011. — 40 с.

МАТРИЦА БОСТОНСКОЙ КОНСАЛТИНГОВОЙ ГРУППЫ КАК ИНСТРУМЕНТ АНАЛИЗА РЫНКА ТРУДА

Е.П. Сологуб, А.В. Никоненко

Национальный университет пищевых технологий

В статье изучена матрица Бостонской консалтинговой группы и возможности ее использования для исследования рынка труда. Проанализировано влияние матрицы Бостонской консалтинговой группы в сферах управления персоналом на деятельность учебных заведений. Предложена модифицированная матрица Бостонской консалтинговой группы, предназначенная для исследования рынка труда. Предусмотрено выделение шести стратегических зон матрицы, что позволяет учесть влияние кризисов системы образования и экономики. Продемонстрировано использование матрицы для стратегического анализа рынка труда Украины.

Ключевые слова: кадровая политика, рынок труда, маркетинг, стратегический анализ, матрица Бостонской консалтинговой группы.

УДК: 331.101.3

STAFF MOTIVATION AS THE MAIN TOOL FOR ACHIEVING ORGANIZATIONAL GOALS

D. Hryshchenko, Yu. Dvorak

National University of Food Technologies

Key words:

Motivation

Financial motivation

Non-financial motivation

KPI

Article history:

Received 12.11.2016

Received in revised form
01.12.2016

Accepted 13.12.2016

Corresponding author:

D. Hryshchenko

E-mail:

diana.gr.tg@gmail.com

ABSTRACT

The issues of effective motivation and stimulation of employees of an organization are considered in the article, as well as the main types and methods of personnel motivation. It is substantiated that non-financial motivation of personnel is very important. Such motivation includes moral encouragement and personal attention, increasing job status. It is investigated that the key progress indicator plays an important role in building a fair and effective incentive system. Motivation system becomes clear and transparent when implementing KPI because it records planned and actual values. Therefore, a manager can motivate the employees more effectively.

МОТИВАЦІЯ ПЕРСОНАЛУ ЯК ОСНОВНИЙ ІНСТРУМЕНТ ДОСЯГНЕННЯ ЦІЛЕЙ ОРГАНІЗАЦІЇ

Д.Г. Грищенко, Ю.С. Дворак

Національний університет харчових технологій

У статті розглянуто питання ефективної системи мотивації та стимулювання працівників організації, а також охарактеризовано основні види й методи мотивації персоналу. З'ясовано, що в даний час перевага надається матеріальній мотивації персоналу підприємства. Досліджено, що важливу роль у побудові об'єктивної й ефективної системи мотивації відіграє ключовий індикатор виконання, при впровадженні якого система мотивації стає чіткою і прозорою, оскільки фіксуються планові та фактичні значення, і керівнику цілком очевидно, за що і як мотивувати співробітника.

Ключові слова: мотивація, матеріальна мотивація, нематеріальна мотивація, ключовий індикатор виконання.

Постановка проблеми. У сучасних умовах розвитку країни з розвиненою ринковою економікою приділяють увагу застосуванню методів матеріального і нематеріального стимулювання для досягнення цілей підприємства в умовах динамічних змін зовнішнього середовища.

Збереження ефективного персоналу, його мотивація на пошук рішень для покращення результатів діяльності — найактуальніше завдання вітчизняних підприємств та організацій в умовах фінансово-економічної кризи, тому питання мотивації та стимулювання працівників займають одне з головних місць в управлінні персоналом організації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Поняття та значення мотивації розглядається у працях таких вчених, як: О. Кузьмін, О. Мельник, Й. Завадський, Р. Грифін, В. Яцура, В. Черкасов.

Мотивація визначається як сукупність об'єктивних і суб'єктивних факторів, які змушують індивідуума поводитися доцільним або необхідним чином. До основного змісту мотивації належить три ключових поняття: зусилля, організаційні завдання та індивідуальна потреба [2].

Мотивація працівників — одне з найбільш важливих завдань керівника. Вона вимагає уміння, напористості та розуміння людської природи. Успіху завжди домагається керівник, який має добре розвинені здібності спонукати працівників до вищого рівня напруження їхніх зусиль і, в кінцевому підсумку, до виконання роботи [2].

Керівники мають вимагати від своїх працівників значних зусиль для досягнення організаційної мети підприємства. Для цього вони повинні забезпечити потреби індивідуумів. Отже, в процесі мотивації відбувається, з одного боку, досягнення організаційної мети, з іншого — задоволення індивідуальних потреб. Процес керівництва, в кінцевому підсумку, зводиться до найбільш повного задоволення цих потреб.

Метою статті є дослідження матеріальної та нематеріальної мотивації, яка слугує рушійним важелем при управлінні людськими ресурсами.

Виклад основних результатів дослідження. У наш час прийнято визначати два основних види мотивації праці: нематеріальну та матеріальну.

Розглянемо найефективніші з практики вітчизняних організацій засоби нематеріальної мотивації персоналу, успіх застосування яких багато в чому залежить від фантазії і терпіння керівника, особливостей корпоративної культури та можливостей для проведення експериментів.

Подяка. Публічна подяка є дієвим способом підвищення ініціативності працівника. Працівники, яких постійно критикують, можуть перетворитися з життєрадісних генераторів ідей, що ефективно працювали на початку, на пригнічених і незадоволених життям. Це буде негативно впливати на їхню продуктивність праці, а також на оточуючих. Необхідно заохочувати працівників, коли вони проявляють активність і беруть на себе додаткові обов'язки.

Сприятливі умови праці. Ніщо так не мотивує працівника на ефективну роботу, як добре обладнане робоче місце, можливість кар'єрного росту, тренінги і семінари, що проводяться з ініціативи та за кошт організації, сприятлива атмосфера в колективі.

Особисті привітання. Якщо особисто вітати працівника з днем народження та іншими датами, то ефект від таких дій перевищить загальні привітання, які останнім часом перестали становити хоч якусь цінність для персоналу.

Гнучкий графік роботи — важливий інструмент в мотиваційному арсеналі менеджера, що однозначно стимулює до більш ефективної праці. Головним мотиватором виступає можливість самостійно розпоряджатися своїм часом.

Стягнення. Це теж елемент мотивації: є працівники, які час від часу просто потребують суворої критики. Усне зауваження, письмова догана, загроза звільнення застосовуються залежно від ситуації. Зняття раніше накладеного стягнення теж можна вважати мотивацією. Якщо зауваження було зроблено в усній формі, то так само варто його і зняти, повідомивши співробітнику, що він виправився, і тепер його робота гідна похвали.

Підвищення на посаді. Дуже ефективний спосіб мотивації навіть без збільшення окладу. Іноді працівники йдуть до конкурентів на рівнозначну або навіть меншу зарплату, знаходячи при цьому бажані позицію або посаду. Кар'єра для молодих, здібних, амбітних працівників є особливо важливою, тому потрібно тримати баланс можливостей наймолодших співробітників і тих, хто багато років працює в компанії.

Корпоративна культура. Мотивувати людину за допомогою впровадження корпоративного кодексу, створення книги історії компанії, корпоративні свята, спільні виїзди на природу, екскурсії, відвідування театрів і концертів, клуби за інтересами, спортивні змагання, участь у благодійній діяльності тощо є дуже важливим та ефективним видом мотивації.

На прикладі ПАТ «Ушицький комбінат будівельних матеріалів» визначимо пріоритетні види нематеріальної мотивації працівників. Розглянемо поетапно механізм визначення переваг працівників підприємства за видами мотивації.

Механізм визначення пріоритетних видів мотивації:

1. Визначення кола опитуваних.
2. Проведення анкетування працівників підприємства (анкета містить 105 питань: в довільному порядку представлені 15 питань по кожному виду мотивації).
3. Підрахунок по кожному працівникові кількості позитивних відповідей за кожним видом мотивації.
4. Здійснення розрахунку коефіцієнта вагомості за окремим видом мотивації.
5. Розрахунок загального коефіцієнта пріоритетності по кожному виду мотивації.
6. Аналіз отриманих даних.

В анкетуванні взяли участь 50 працівників навантажувального цеху. Саме в цьому відділі спостерігаються невисокі показники діяльності, тому доцільним є визначення тих видів мотивації, яким працівники надають перевагу і вважають, що вони будуть дієвими. Після впровадження потрібного виду мотивації показники роботи відділу повинні покращитися і вплинути на поліпшення показників діяльності підприємства. Результати анкетування представлені в табл. 1.

З даних табл. 1 випливає, що працівники підприємства надають перевагу такому виду нематеріальної мотивації, як гнучкий графік роботи. Загальний коефіцієнт вагомості за даним видом мотивації становить 9,06%.

Таблиця 1. Результати дослідження з визначення пріоритетності нематеріальних видів мотивації працівників ПАТ «Ушицький комбінат будівельних матеріалів» за 2016 рік

Працівник № п/п	Подяка			Сприятливі умови праці			Особисті привітання			Гнучкий графік роботи			Стягнення			Підвищення на посаді			Корпоративна культура		
	К-ть питань	К-ть поз. відповідей	Коef. вагомості	К-ть питань	К-ть поз. відповідей	Коef. вагомості	К-ть питань	К-ть поз. відповідей	Коef. вагомості	К-ть питань	К-ть поз. відповідей	Коef. вагомості	К-ть питань	К-ть поз. відповідей	Коef. вагомості	К-ть питань	К-ть поз. відповідей	Коef. вагомості	К-ть питань	К-ть поз. відповідей	Коef. вагомості
1	15	1	0,01	15	14	0,21	15	11	0,16	15	10	0,15	15	7	0,10	15	14	0,21	15	11	0,16
2	15	2	0,05	15	6	0,14	15	8	0,19	15	13	0,30	15	3	0,07	15	6	0,14	15	5	0,12
3	15	7	0,14	15	7	0,14	15	9	0,18	15	9	0,18	15	6	0,12	15	7	0,14	15	4	0,08
4	15	9	0,16	15	8	0,14	15	13	0,23	15	6	0,11	15	1	0,02	15	8	0,14	15	12	0,21
5	15	6	0,15	15	5	0,13	15	6	0,15	15	12	0,30	15	3	0,08	15	5	0,13	15	3	0,08
6	15	5	0,08	15	14	0,22	15	4	0,06	15	13	0,21	15	7	0,11	15	14	0,22	15	6	0,10
7	15	10	0,16	15	12	0,20	15	6	0,10	15	8	0,13	15	9	0,15	15	12	0,20	15	4	0,07
8	15	7	0,17	15	3	0,07	15	7	0,17	15	9	0,22	15	7	0,17	15	3	0,07	15	5	0,12
9	15	9	0,17	15	6	0,11	15	6	0,11	15	13	0,24	15	5	0,09	15	6	0,11	15	9	0,17
10	15	5	0,09	15	7	0,13	15	11	0,20	15	6	0,11	15	9	0,16	15	7	0,13	15	10	0,18
11	15	7	0,13	15	9	0,17	15	5	0,09	15	12	0,23	15	2	0,04	15	9	0,17	15	9	0,17
12	15	3	0,05	15	7	0,11	15	14	0,22	15	13	0,20	15	10	0,16	15	7	0,11	15	10	0,16
13	15	5	0,11	15	5	0,11	15	12	0,27	15	7	0,16	15	3	0,07	15	5	0,11	15	8	0,18
14	15	10	0,17	15	9	0,16	15	3	0,05	15	9	0,16	15	9	0,16	15	9	0,16	15	9	0,16
15	15	11	0,24	15	2	0,04	15	6	0,13	15	7	0,16	15	6	0,13	15	2	0,04	15	11	0,24
16	15	6	0,09	15	10	0,14	15	14	0,20	15	15	0,22	15	2	0,03	15	10	0,14	15	12	0,17
17	15	4	0,10	15	3	0,07	15	5	0,12	15	9	0,22	15	3	0,07	15	3	0,07	15	14	0,34
18	15	5	0,09	15	9	0,17	15	9	0,17	15	11	0,21	15	8	0,15	15	9	0,17	15	2	0,04
19	15	9	0,18	15	6	0,12	15	10	0,20	15	8	0,16	15	9	0,18	15	6	0,12	15	3	0,06
20	15	10	0,19	15	2	0,04	15	9	0,17	15	9	0,17	15	13	0,24	15	2	0,04	15	9	0,17
21	15	9	0,16	15	3	0,05	15	10	0,18	15	14	0,25	15	6	0,11	15	3	0,05	15	11	0,20
22	15	10	0,15	15	8	0,12	15	8	0,12	15	12	0,18	15	12	0,18	15	8	0,12	15	9	0,13
23	15	8	0,12	15	10	0,15	15	9	0,13	15	15	0,22	15	7	0,10	15	10	0,15	15	8	0,12
24	15	9	0,19	15	8	0,17	15	1	0,02	15	6	0,13	15	6	0,13	15	8	0,17	15	10	0,21
25	15	1	0,02	15	7	0,15	15	12	0,26	15	9	0,19	15	9	0,19	15	7	0,15	15	2	0,04
26	15	12	0,18	15	9	0,13	15	14	0,21	15	10	0,15	15	5	0,07	15	9	0,13	15	8	0,12
27	15	14	0,24	15	12	0,21	15	2	0,03	15	4	0,07	15	7	0,12	15	12	0,21	15	7	0,12
28	15	2	0,05	15	6	0,16	15	3	0,08	15	7	0,18	15	8	0,21	15	6	0,16	15	6	0,16
29	15	3	0,04	15	14	0,20	15	9	0,13	15	9	0,13	15	9	0,13	15	14	0,20	15	11	0,16
30	15	9	0,13	15	15	0,21	15	11	0,15	15	7	0,10	15	5	0,07	15	15	0,21	15	10	0,14
31	15	11	0,17	15	12	0,18	15	9	0,14	15	5	0,08	15	9	0,14	15	12	0,18	15	8	0,12
32	15	9	0,16	15	8	0,14	15	8	0,14	15	14	0,25	15	3	0,05	15	8	0,14	15	7	0,12
33	15	8	0,14	15	7	0,12	15	10	0,17	15	13	0,22	15	9	0,15	15	7	0,12	15	5	0,08
34	15	10	0,26	15	6	0,16	15	3	0,08	15	9	0,24	15	0	-	15	6	0,16	15	4	0,11
35	15	3	0,06	15	4	0,08	15	9	0,19	15	8	0,17	15	8	0,17	15	4	0,08	15	12	0,25
36	15	9	0,16	15	9	0,16	15	6	0,11	15	12	0,22	15	9	0,16	15	9	0,16	15	1	0,02
37	15	6	0,12	15	8	0,16	15	12	0,24	15	14	0,27	15	1	0,02	15	8	0,16	15	2	0,04
38	15	5	0,07	15	14	0,21	15	13	0,19	15	9	0,13	15	5	0,07	15	14	0,21	15	7	0,10
39	15	3	0,05	15	15	0,23	15	8	0,12	15	11	0,17	15	4	0,06	15	15	0,23	15	9	0,14
40	15	8	0,12	15	12	0,18	15	9	0,14	15	10	0,15	15	9	0,14	15	12	0,18	15	6	0,09
41	15	9	0,15	15	11	0,18	15	13	0,21	15	12	0,19	15	1	0,02	15	11	0,18	15	5	0,08
42	15	3	0,06	15	5	0,11	15	6	0,13	15	12	0,26	15	6	0,13	15	5	0,11	15	10	0,21
43	15	6	0,10	15	12	0,20	15	12	0,20	15	8	0,13	15	3	0,05	15	12	0,20	15	7	0,12
44	15	12	0,17	15	14	0,19	15	3	0,04	15	12	0,17	15	8	0,11	15	14	0,19	15	9	0,13
45	15	3	0,06	15	11	0,23	15	7	0,15	15	8	0,17	15	2	0,04	15	11	0,23	15	5	0,11
46	15	7	0,11	15	15	0,23	15	9	0,14	15	7	0,11	15	5	0,08	15	15	0,23	15	7	0,11
47	15	3	0,06	15	13	0,25	15	7	0,14	15	6	0,12	15	6	0,12	15	13	0,25	15	3	0,06
48	15	8	0,15	15	8	0,15	15	5	0,09	15	14	0,25	15	7	0,13	15	8	0,15	15	5	0,09
49	15	4	0,07	15	9	0,16	15	9	0,16	15	9	0,16	15	6	0,11	15	9	0,16	15	10	0,18
50	15	1	0,02	15	1	0,02	15	11	0,27	15	8	0,20	15	8	0,20	15	1	0,02	15	11	0,27
Разом	-	-	6,07	-	-	7,52	-	-	7,51	-	-	9,06	-	-	5,54	-	-	7,52	-	-	6,78

Успіх матеріальних методів мотивації залежить від можливостей компанії, бажання акціонерів і багатьох інших факторів. До основних її видів можемо віднести:

1. *Грошова винагорода.* Форми грошової винагороди дуже різноманітні: премії, матеріальна допомога, бонуси, різного роду виплати у вигляді відсотків від продажів тощо.

2. *Підвищення фіксованої оплати.* Найчастіше підвищення відбувається тоді, коли працівники незадоволені рівнем оплати праці або коли компанія проявляє політику щодо особливо цінних працівників. Можливе і одноразове

підвищення оплати за наявності об'єктивних причин. Бажано раз на рік (півроку або квартал) проводити моніторинг фіксованих окладів співробітників з метою їх перегляду. Ця процедура може бути прив'язана до складання звіту про виконану роботу за певний період часу. Потрібно стежити, щоб новачки не отримували більшу фіксовану частину, ніж фахівці. Подібна ситуація, зазвичай, закінчується конфліктами: новий співробітник, крім труднощів адаптації, зіткнеться ще й з негативним ставленням до нього з боку колективу.

3. *Цінні подарунки.* Гідні презенти до дня народження (особливо до ювілею), до свят дуже порадують співробітників. Заслугує на увагу такий досвід, як подарунок-приз за досягнення певних результатів діяльності або призовий фонд: для кращого менеджера, за кращі фінансові показники, за стаж роботи в компанії тощо.

4. *Навчання.* Підвищення кваліфікації, профільні семінари і тренінги, додаткова вища освіта — все це підвищує професіоналізм людини, а отже, і її вартість на ринку праці. Більшість людей цінують внесок компанії в зростання їх освітнього рівня. Така форма мотивації особливо ефективна для молоді.

5. *Участь у програмах розподілу прибутку.* В даний час метод практикується не так часто, оскільки акції у свідомості українців не сприймаються як грошова винагорода. Далеко не всі співробітники обізнані з обігом цінних паперів, не всі вірять у стабільність компанії, в якій працюють, а вже право на придбання акцій за фіксованою ціною в майбутньому для більшості — абстракція. Ще одна проблема: чим нижча посада, тим вища ймовірність того, що співробітник, отримавши акції, відразу ж спробує їх продати. Такі схеми оплати праці поки доцільно застосовувати тільки для топ-менеджерів.

6. *Додаткові пільги.* Компенсаційний пакет залежить від можливостей компанії, потреб працівників, їх чисельності тощо. В нього може входити: оплата послуг мобільного зв'язку; компенсація проїзду в громадському транспорті; харчування; страхування (життя, медичне, від нещасного випадку, на випадок захворювання, страхування здоров'я і життя членів сім'ї та ін.); надання кредитів або позик на придбання споживчих товарів, житла та ін; необмежений доступ в Інтернет; додаткові витрати на відрядження тощо.

7. *Соціальна програма,* що дозволяє розпочати формування нової ментальності в компанії, створити для співробітників умови, які б мотивували до самореалізації і саморозвитку. У ній доцільно регламентувати всі види і порядок надання працівникам корпорації додаткових соціальних пільг, непередбачених КЗпП України [7].

Для покращення показників діяльності навантажувального відділу доцільним є дослідження пріоритетності матеріальних видів мотивації працівників ПАТ «Ушицький комбінат будівельних матеріалів». За вищеописаним механізмом визначамо ті види матеріальної мотивації, які є найбільш цінними для працівників даного відділу. Результати дослідження представлені в табл. 2.

З даних табл. 2 випливає, що працівники підприємства надають перевагу такому виду матеріальної мотивації, як навчання. Загальний коефіцієнт вагомості за даним видом мотивації становить 8,84 %. Персонал підприємства зможе здійснювати професійне навчання як безпосередньо на робочому

місці, що дасть змогу не покидати виродництво, так і поза робочим місцем. Також на підприємстві було б доцільно систематично винагороджувати працівників у грошовому еквіваленті, оскільки коефіцієнт вагомості даного виду мотивації складає 7,92%. Будь-яких обмежень або встановлених правил щодо розробки стратегії мотивації персоналу не існує. Головне — домогтися бажаних результатів.

Для досягнення ефективної діяльності працівників необхідна достатня мотивація. Визначено, що при слабкій і надзвичайно сильній мотивації успішність діяльності найчастіше буває невисокою. Таку залежність називають законом Р. Йеркса — Дж. Додсона. Ці вчені у 1908 р. визначили, що існує безпосередній взаємозв'язок між інтенсивністю мотивації і якістю виконання діяльності: «Згідно з цим законом, унаслідок збільшення інтенсивності мотивації якість діяльності спочатку незначно підвищується, але після досягнення точки найвищих показників успішності (оптимуму мотивації) поступово знижується» [3].

Таблиця 2. Результати дослідження з визначення пріоритетності матеріальних видів мотивації працівників ПАТ «Ушицький комбінат будівельних матеріалів» за 2016 рік

Працівник № п/п	Грошова винагорода			Підвищення фіксованої оплати праці			Цінні подарунки			Навчання			Участь у програмах розподілу прибутку			Додаткові пільги та премії			Соціальна програма		
	К-ть пи- тань	К-ть поз. відпо- відей	Коеф. ваго- мості	К-ть пи- тань	К-ть поз. відпо- відей	Коеф. ваго- мості	К-ть пи- тань	К-ть поз. відпо- відей	Коеф. ваго- мості	К-ть пи- тань	К-ть поз. відпо- відей	Коеф. ваго- мості	К-ть пи- тань	К-ть поз. відпо- відей	Коеф. ваго- мості	К-ть пи- тань	К-ть поз. відпо- відей	Коеф. ваго- мості	К-ть пи- тань	К-ть поз. відпо- відей	Коеф. ваго- мості
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
1	15	10	0,15	15	10	0,15	15	10	0,15	15	14	0,22	15	7	0,11	15	3	0,05	15	11	0,17
2	15	8	0,19	15	3	0,07	15	8	0,19	15	6	0,14	15	3	0,07	15	10	0,23	15	5	0,12
3	15	5	0,09	15	9	0,16	15	9	0,16	15	15	0,27	15	6	0,11	15	8	0,14	15	4	0,07
4	15	6	0,11	15	6	0,11	15	13	0,24	15	8	0,15	15	1	0,02	15	9	0,16	15	12	0,22
5	15	14	0,26	15	12	0,23	15	6	0,11	15	5	0,09	15	3	0,06	15	10	0,19	15	3	0,06
6	15	8	0,14	15	13	0,22	15	4	0,07	15	14	0,24	15	7	0,12	15	6	0,10	15	6	0,10
7	15	9	0,17	15	8	0,15	15	6	0,12	15	12	0,23	15	9	0,17	15	4	0,08	15	4	0,08
8	15	13	0,26	15	9	0,18	15	7	0,14	15	3	0,06	15	7	0,14	15	6	0,12	15	5	0,10
9	15	6	0,12	15	13	0,25	15	6	0,12	15	6	0,12	15	5	0,10	15	7	0,13	15	9	0,17
10	15	4	0,07	15	6	0,10	15	11	0,18	15	14	0,23	15	9	0,15	15	6	0,10	15	10	0,17
11	15	6	0,12	15	12	0,24	15	5	0,10	15	15	0,30	15	2	0,04	15	1	0,02	15	9	0,18
12	15	7	0,12	15	3	0,05	15	14	0,24	15	9	0,16	15	10	0,17	15	5	0,09	15	10	0,17
13	15	6	0,10	15	7	0,12	15	12	0,20	15	10	0,17	15	3	0,05	15	13	0,22	15	8	0,14
14	15	11	0,21	15	9	0,17	15	3	0,06	15	9	0,17	15	9	0,17	15	2	0,04	15	9	0,17
15	15	7	0,18	15	7	0,18	15	6	0,15	15	10	0,25	15	6	0,15	15	3	0,08	15	1	0,03
16	15	6	0,10	15	5	0,08	15	14	0,24	15	14	0,24	15	2	0,03	15	6	0,10	15	12	0,20
17	15	12	0,22	15	9	0,17	15	5	0,09	15	7	0,13	15	3	0,06	15	4	0,07	15	14	0,26
18	15	13	0,23	15	11	0,19	15	9	0,16	15	9	0,16	15	8	0,14	15	5	0,09	15	2	0,04
19	15	8	0,15	15	8	0,15	15	10	0,19	15	7	0,13	15	9	0,17	15	9	0,17	15	3	0,06
20	15	9	0,14	15	9	0,14	15	9	0,14	15	5	0,08	15	13	0,20	15	10	0,16	15	9	0,14
21	15	13	0,19	15	14	0,21	15	10	0,15	15	4	0,06	15	6	0,09	15	9	0,13	15	11	0,16
22	15	6	0,09	15	12	0,17	15	8	0,11	15	13	0,19	15	12	0,17	15	10	0,14	15	9	0,13
23	15	15	0,24	15	5	0,08	15	9	0,15	15	10	0,16	15	7	0,11	15	8	0,13	15	8	0,13
24	15	3	0,07	15	6	0,14	15	1	0,02	15	8	0,19	15	6	0,14	15	9	0,21	15	10	0,23
25	15	7	0,15	15	9	0,19	15	12	0,26	15	7	0,15	15	9	0,19	15	1	0,02	15	2	0,04
26	15	9	0,13	15	10	0,15	15	14	0,21	15	9	0,13	15	5	0,07	15	12	0,18	15	8	0,12
27	15	14	0,23	15	4	0,07	15	2	0,03	15	12	0,20	15	7	0,12	15	14	0,23	15	7	0,12
28	15	12	0,27	15	7	0,16	15	3	0,07	15	6	0,14	15	8	0,18	15	2	0,05	15	6	0,14
29	15	7	0,11	15	9	0,15	15	9	0,15	15	14	0,23	15	9	0,15	15	3	0,05	15	11	0,18
30	15	6	0,10	15	7	0,11	15	11	0,17	15	15	0,24	15	5	0,08	15	9	0,14	15	10	0,16
31	15	9	0,14	15	5	0,08	15	9	0,14	15	15	0,24	15	9	0,15	15	11	0,17	15	8	0,13
32	15	5	0,11	15	4	0,09	15	8	0,18	15	8	0,18	15	3	0,07	15	9	0,20	15	7	0,16
33	15	7	0,12	15	13	0,22	15	10	0,17	15	7	0,12	15	9	0,15	15	8	0,14	15	5	0,08
34	15	8	0,20	15	9	0,23	15	3	0,08	15	6	0,15	15	0	-	15	10	0,25	15	4	0,10
35	15	9	0,17	15	8	0,15	15	9	0,17	15	4	0,08	15	8	0,15	15	3	0,06	15	12	0,23
36	15	14	0,23	15	12	0,20	15	6	0,10	15	9	0,15	15	9	0,15	15	9	0,15	15	1	0,02
37	15	12	0,27	15	4	0,09	15	12	0,27	15	8	0,18	15	1	0,02	15	6	0,13	15	2	0,04
38	15	5	0,09	15	9	0,16	15	13	0,22	15	14	0,24	15	5	0,09	15	5	0,09	15	7	0,12
39	15	6	0,11	15	11	0,20	15	8	0,14	15	15	0,27	15	4	0,07	15	3	0,05	15	9	0,16

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
40	15	9	0,14	15	10	0,16	15	9	0,14	15	12	0,19	15	9	0,14	15	8	0,13	15	6	0,10
41	15	3	0,06	15	12	0,22	15	13	0,24	15	11	0,20	15	1	0,02	15	9	0,17	15	5	0,09
42	15	7	0,18	15	2	0,05	15	6	0,15	15	5	0,13	15	6	0,15	15	3	0,08	15	10	0,26
43	15	14	0,23	15	8	0,13	15	12	0,19	15	12	0,19	15	3	0,05	15	6	0,10	15	7	0,11
44	15	15	0,21	15	12	0,16	15	3	0,04	15	14	0,19	15	8	0,11	15	12	0,16	15	9	0,12
45	15	2	0,05	15	8	0,21	15	7	0,18	15	11	0,29	15	2	0,05	15	3	0,08	15	5	0,13
46	15	8	0,14	15	7	0,12	15	9	0,16	15	15	0,26	15	5	0,09	15	7	0,12	15	7	0,12
47	15	9	0,19	15	6	0,13	15	7	0,15	15	13	0,28	15	6	0,13	15	3	0,06	15	3	0,06
48	15	5	0,12	15	4	0,10	15	5	0,12	15	8	0,19	15	7	0,17	15	8	0,19	15	5	0,12
49	15	14	0,23	15	9	0,15	15	9	0,15	15	9	0,15	15	6	0,10	15	4	0,07	15	10	0,16
50	15	12	0,23	15	8	0,15	15	11	0,21	15	1	0,02	15	8	0,15	15	1	0,02	15	11	0,21
Разом	-	-	7,92	-	-	7,53	-	-	7,57	-	-	8,84	-	-	5,53	-	-	6,04	-	-	6,57

Важливу роль у побудові об'єктивної й ефективної системи мотивації відіграє також ключовий індикатор використання KPI (Key Performance Indicators). При впровадженні KPI система мотивації стає чіткою і прозорою, оскільки фіксуються планові та фактичні значення, і керівнику очевидно, за що і як мотивувати співробітника, а працівник, у свою чергу, добре розуміє, за яких умов і яку винагороду він отримає, а за що його чекає стягнення. Найбільш актуальне використання поняття KPI в управлінні бізнес-процесами. KPI є вимірювачами результативності, ефективності, продуктивності бізнес-процесів.

Виділяються такі види ключових показників: KPI результату (ступінь досягнення запланованих результатів); KPI витрат (кількість витрачених ресурсів); KPI функціонування (рівень виконання бізнес-процесів); KPI продуктивності (похідні показники, що характеризують співвідношення між отриманим результатом і часом, витраченим на його отримання); KPI ефективності (похідні показники, що характеризують співвідношення отриманого результату до витрат ресурсів).

При розробці системи KPI необхідно дотримуватися таких правил:

- набір показників повинен містити необхідну кількість для забезпечення повноцінного управління бізнес-процесом;
- кожен показник має бути правильно вимірний;
- вартість вимірювання показника не повинна перевищувати управлінський ефект від використання даного показника [8].

Запропонуємо для навантажувального цеху ПАТ «Ушицький комбінат будівельних матеріалів» систему оцінки результативності виконуваних дій (KPI). На основі діяльності цеху наведемо приклади для розрахунку ключових показників роботи — KPI результату. За допомогою представленої системи можна підвищити мотивацію працівників, збільшити кількість вчасно навантажених та відвантажених вагонів і таким чином покращити показники діяльності компанії. Розглянемо запропоновані показники системи KPI для працівників навантажувального цеху.

K₁. Кількість вчасно навантажених вагонів:

$$K_1 = \frac{C}{M} \%, \quad (1)$$

де C — фактична кількість вчасно навантажених вагонів; M — планова кількість навантажених вагонів.

K₂. Дотримання термінів навантаження вагонів:

$$K_2 = \frac{SUM \frac{ТФ_n - ТП_n}{ТП_n}}{N} \% , \quad (2)$$

де $ТФ_n$ — фактический період навантаження вагонів; $ТП_n$ — плановий період навантаження вагонів; N — кількість навантажених вагонів; $N = SUM$.

K_3 . Відповідність фактичних і планових вартостей навантаження вагонів:

$$K_3 = \frac{SUM \frac{СФ_n - СП_n}{СП_n}}{N} \% , \quad (3)$$

де $СФ_n$ — фактична вартість здійснення навантаження; $СП_n$ — планова вартість здійснення навантаження; N — кількість навантажених вагонів; $N = SUM$.

Відповідно, якщо K_1, K, K_3 становить від 80 до 100%, то працівник отримує 5 балів. Якщо коефіцієнт становить 65—79 %, то робітник отримує 4 бали. Працівники, які отримали 4 або 5 балів можуть розраховувати на бонуси або премії. Якщо K_1, K, K_3 в діапазоні від 50 до 64%, працівник отримує 3 бали і не отримує примії. Коли значення показників від 25 до 49%, то працівник отримує 2 бали. Якщо КРІ менше 24%, то відповідно оцінка роботи робітника 1 бал. Коли працівники отримують 2 або 1 бал, то застосовується демотивація персоналу, наприклад, впроваджуються матеріальні стягнення. Якщо протягом значного періоду працівник буде показувати низькі результати, не приносить прибутку компанії, то керівник буде вимушений його звільнити.

Система КРІ прогнозує фахівцям чіткі цілі роботи і прозорі бонуси. Але перехід на таку систему буде складним, а показники можуть виявитися недосяжними.

Висновки

Таким чином, для здійснення ефективного управління підприємством в умовах динамічних змін зовнішнього середовища необхідна побудова та застосування ефективного механізму матеріального і нематеріального стимулювання персоналу підприємства з урахуванням поглядів і мотивованості працівників

На прикладі ПАТ «Ушицький комбінат будівельних матеріалів» було проведено дослідження з визначення пріоритетності як нематеріальних видів мотивації, так і матеріальних. Найпріоритетнішим видом матеріальної мотивації, згідно з анкетуванням, є навчання. Визначено, що гнучкий графік роботи є важливим видом нематеріальної мотивації для більшості опитуваних. Також запропоновано до впровадження систему мотивації на основі КРІ для працівників навантажувального цеху підприємства.

Література

1. Богиня Д.П. Трудовий менталітет у системі мотивації праці / Д.П.Богиня, М.В. Семикіна. — Кіровоград : Поліграф-Терція, 2010. — 122 с.
2. Дикань Н.В. Менеджмент: навч. посібник / Н.В. Дикань, І.І. Борисенко. — Київ : Знання, 2008. — 389 с.
3. Занюк С. Психология мотивации / С.Занюк. — Київ : Эльга-Н; Ника-Центр, 2001. — 352 с.

4. Коритко С. Формування системи мотивації праці на підприємстві / С. Коритко // Студентський науковий вісник «Керівник ІНФО» [Електронний ресурс]. — Режим доступу : <http://kerivnyk.info/2012/05/korytko.html>.

5. Кузнецкий В. Заохочення і покарання // Галицькі контракти. — 2005. — № 16. — С. 44—46.

6. Мурашко М.І. Менеджмент персоналу: Навч. посіб. / М.І.Мурашко. — Київ : Т-во «Знання», КОО, 2008. — 435 с.

7. Новикова А. Вся правда о мотивации / А. Новикова // Менеджер по персоналу. — 2008. — № 10. — С. 48—55.

8. Современные технологии управления — Система KPI (Key Performance Indicator): разработка и применение показателей бизнес-процесса. Показатели эффективности [Електронний ресурс]. — Режим доступа: <http://www.businessstudio.ru/procedures/business/kpi/>.

9. Тімашкова О.А. Мотивація праці та її роль у підвищенні ефективності діяльності підприємств // Вчені записки Інституту економіки та права «КРОК». — 2008. — Т. 2. — № 18. — С. 216—221.

10. Фецин Ю.З. Мотивування в системі менеджменту підприємства / Ю.З. Фецин // Студентський науковий вісник «Керівник.ІНФО» [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://kerivnyk.info/2011/01/feschyn.html>.

МОТИВАЦИЯ ПЕРСОНАЛА КАК ОДИН ИЗ ОСНОВНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Д.Г. Грищенко, Ю.С. Дворак

Национальный университет пищевых технологий

В статье рассмотрены вопросы эффективной системы мотивации и стимулирования работников организации, а также охарактеризованы основные виды и методы мотивации персонала. Определены приоритетные виды материальной и нематериальной мотивации персонала предприятия. Исследовано, что важную роль в построении объективной и эффективной системы мотивации играет ключевой индикатор выполнения, при внедрении которого система мотивации становится четкой и прозрачной, поскольку фиксируются плановые и фактические значения, и руководителю совершенно очевидно, за что и как мотивировать сотрудника. Наведен пример расчета показателей на основе системы KPI для сотрудников выбранного отдела предприятия.

Ключевые слова: *мотивация, материальная мотивация, нематериальная мотивация, KPI.*

HERBAL MEDICINE AS AN IMPORTANT COMPONENT OF AYURVEDIC AND TRADITIONAL TREATMENT SYSTEMS

G. Simakhina, N. Naumenko

National University of Food Technologies

Key words:

Ayurveda

Herbs

Biocomponents

Flora

Pharmacognosis

Traditional treatment

Article history:

Received 04.11.2016

Received in revised form
24.11.2016

Accepted 15.12.2016

Corresponding author:

G. Simakhina

E-mail:

npuht@ukr.net

ABSTRACT

Phytotherapy that is wide-spread in Oriental countries becomes more and more popular in Western and Eastern Europe as well as in America. This tendency is a consequence of worsening of the worldwide ecological situation, and thereafter a factor to increase the popularity of non-traditional therapeutic methods dealing with natural means and especially herbs. Basing on the literary data and the results of their own researches, the authors of the article elucidate the perspectives of using herbs in prevention and healing of many diseases, and also in foodstuff production. The characteristics of wild and cultivated plants spread both in India and Ukraine are also presented in this paper.

ЛІКАРСЬКІ ТРАВИ ЯК ВАЖЛИВА СКЛАДОВА АЮРВЕДИЧНОЇ ТА ВІТЧИЗНЯНОЇ СИСТЕМ ОЗДОРОВЛЕННЯ

Г.О. Сімахіна, Н.В. Науменко

Національний університет харчових технологій

Зацікавлення траволікуванням, поширеним на Сході, в сучасних умовах дедалі більше розповсюджується і в країнах Америки, Західної та Східної Європи. Ця тенденція є наслідком погіршення екологічної ситуації у світі, що зумовило зростання популярності нетрадиційних методів лікування з використанням натуральних засобів, передусім трав. У статті на основі літературних даних і власних досліджень з'ясовано перспективність використання лікарських трав і пряно-ароматичної сировини для профілактики та лікування хвороб, а також при виробництві харчових продуктів; наведено характеристики дикорослої та синантропної рослинності, поширеної як в Індії, так і в Україні.

Ключові слова: Аюрведа, лікарські трави, біокомпоненти, рослинність, фармакогнозія, офіційна медицина.

Постановка проблеми. Аюрведа — це мистецтво життя, мистецтво жити краще і довше, і вона пропонує перш за все ті знання про природу, які є найбільш істотними з цієї точки зору. Мистецтво використання рослин складає одну із важливих частин аюрведичного знання, оскільки основне джерело життєвої енергії на Землі — це Сонце, а ми можемо жити сонячною енергією лише опосередковано, через рослини [1].

Основними рослинними матеріалами, які використовуються і як харчові, і як лікувальні засоби, поряд з овочами, ягодами, фруктами, листовою зеленню, є лікарська та пряно-ароматична сировина, а також дикорослі ягоди. В Україні її заготовляють близько 200 тис. тонн за рік, і вона переважно йде на експорт.

Ці матеріали застосовують у формі водних і водно-спиртових екстрактів, згущених та пастоподібних концентратів, порошків, CO₂ — екстрактів, ефірних олій тощо.

В Україні в останні роки лікарську сировину в харчових технологіях значно витіснили штучні харчові добавки, здебільшого шкідливі для організму людини. Ферментна система непридатна для їх перетравлення, вони важко виводяться з організму і накопичуються у вигляді алергенів. Тому використання лікарських трав і пряно-ароматичної сировини у харчовій промисловості має стати предметом досліджень як науковців, так і практиків і з часом повністю замінити синтетичні добавки.

Сучасний фахівець у сфері харчових технологій має знати хімічний склад, біологічну цінність, лікувально-профілактичний вплив різних видів розповсюджених на Сході і Заході лікарських трав та пряно-ароматичної сировини, а також спеціальних аюрведичних трав і різноманітних фітодобавок на їхній основі (екстрактів-антиоксидантів, ефірних олій тощо); також розумітися на їх раціональному переробленні і правильному використанні як для профілактики хвороб, так і у харчових технологіях.

Такі знання необхідні для формування індивідуальної системи оздоровлення; для конструювання і виробництва нових харчових продуктів, конкурентоспроможних як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках; для створення оригінальних кулінарних виробів, які поєднували б основні аюрведичні принципи з українськими традиціями.

Часом можна чути, що індійська система лікування травами не може являти для нас практичного інтересу або не підходить нам, оскільки вона ґрунтується на релігійних уявленнях, а її трави — в основному тропічні рослини, які нам недоступні або в умовах нашого клімату неадекватні. Та насправді сьогодні значна частина населення відчуває необхідність включення духовного, психологічного аспекту в медичну практику, оскільки Аюрведа довела, що порушення емоційної рівноваги викликає фізичні хвороби [2]. Більш того, порівняльний аналіз лікарських трав показав, що в Україні можна знайти багато їх видів, аналогічних тим, що ростуть в Індії.

Метою статті є аналіз сучасних даних східної і західної наукових шкіл щодо доцільності і перспектив застосування у профілактиці й лікуванні хвороб, у харчовій промисловості лікарських трав, а також розширення спектра застосування аюрведичних методів траволікування в Україні.

Виклад основних результатів дослідження. Лікарська і пряно-ароматична сировина містять у досить значних кількостях широкий спектр біологічно активних речовин, здатних справляти різнобічний вплив на всі функції та системи організму людини. Наприклад, підвищувати захисні сили організму до впливу різних ушкоджуючих чинників (малих доз радіоактивного опромінення, стресів, руйнівної дії вільних радикалів, фізичних та психоемоційних перевантажень, неспецифічних інфекційних хвороб тощо), справляти антиоксидантну, загальнозміцнюючу дію. Причому концентрації таких сполук у даних рослинних матеріалах значно вищі, ніж у традиційній сільсько-господарській сировині [3].

У зв'язку з цим сьогодні можна знайти багато медичних рекомендацій щодо доцільності і перспектив використання лікарської і пряно-ароматичної сировини не лише з лікувальною метою, а й у виробництві харчових продуктів.

У Державній програмі, присвяченій «Основним напрямкам охорони здоров'я населення у зв'язку з аварією на ЧАЕС», важлива роль відводиться використанню у харчуванні та виробництві нових продуктів нетрадиційних джерел біологічно активних речовин з лікарської та пряно-ароматичної сировини. Ця сировина представлена дикорослими та культивованими лікарськими, пряно-смаковими, пряно-ароматичними рослинами, а також дикорослими ягодами. Для позначення такої сировини використовують термін лікарсько-технічна рослинна сировина (ЛЛТРС). Її називають також нетрадиційною (НЛТРС), щоб розмежувати з традиційною рослинною сировиною — фруктами, ягодами, овочами, зерновими [4].

Лікарсько-технічна рослинна сировина в Україні використовується в харчовій промисловості поки що в дуже обмежених кількостях — в основному при виробництві алкогольних та безалкогольних напоїв, створенні дієтичних добавок антиоксидантної, імуномодуючої дії тощо.

Безумовно, досвід вживання лікарських трав і спецій в Індії, адаптований до умов України, дасть можливість оцінити їх на якісно новому рівні та істотно розширити спектр застосування. Дикорослі ягоди, які входять до зазначеної групи, відзначаються від культивованих родичів вищим вмістом біологічно активних речовин, особливо вітамінів. Передусім це шипшина, обліпіха, чорноплідна горобина, журавлина, калина, чорниця тощо [5].

Зважаючи на біохімічний склад, різнобічну позитивну дію компонентів НЛТРС, у харчовій промисловості можна використовувати більшість представників цієї групи рослин, які відносяться до фармакопейних, тобто дозволених до використання Міністерством охорони здоров'я України. В доступній нам літературі з Аюрведи також описано лише безпечні рослини, вживання яких не викликає заперечень з точки зору медицини [6].

Медична та мікробіологічна промисловість застосовують понад 200 різних видів дикорослих і культивованих рослин. Лікарські препарати, виготовлені на їхній основі, складають понад 50% від загального об'єму цієї продукції в Україні. Із загальної кількості НЛТРС, що заготовлюється в Україні (понад 100 тис. т/рік), дикоросла частина складає близько 60%. Сюди входять такі широко розповсюджені види рослин: кульбаба, спориш, подорожник, материнка, чебрець, полин тощо. Ці трави розповсюджені і в Індії [1].

Деякі види дикорослих лікарських рослин є єдиними рослинними джерелами, оскільки культивованих аналогів поки що немає. Це адоніс весняний, софора, елеутерокок, аралія маньчжурська, брусниця, солодка уральська, айр болотяний, левзея. З перерахованих трав в Аюрведі найбільше використання мають аралія, айр, солодка, елеутерокок. Інші види лікарсько-технічної сировини культивують в основному на загальних станціях або у приватних фірмах. Щорічно заготовляють близько 50 тис. тонн сировини з понад 60 видів рослин. Найбільшу масову частку складають м'ята перцева, меліса лимонна, коріандр, кмин, любисток, шавлія лікарська, корінь цикорію, ромашка, женьшень, шипшина, глід, гірчиця, ревінь тощо. З цього переліку в Індії вирощують такі трави, як м'ята (пудина), коріандр (дханьяка), ромашка, глід, ревінь (амла ветаса), шавлія. Женьшень належить до групи спеціальних аюрведичних трав.

Лікарсько-технічна рослинна сировина цінна передусім розмаїттям біологічно активних речовин. Кожна рослина містить сотні органічних і неорганічних сполук, які є або складовою частиною клітини (білки, нуклеїнові кислоти, амінокислоти, вуглеводи, вітаміни тощо), або її структурними елементами (лігнін, целюлоза та її похідні). Це можуть бути первинні поживні речовини (крохмаль, цукри, білки, олії) та вторинні метаболіти (алкалоїди, глікозиди, ефірні олії тощо), які накопичуються в різних органах (стеблах, листках, квітках, плодах, коренях) нерівномірно. Їхня кількість залежить від кліматичних чинників (вологи, тепла, температурного режиму), фаз вегетації. Сполуки, що є продуктами життєдіяльності рослин і мають фармакологічні властивості, складають важливу групу — біологічно активні речовини (БАР). Від їхньої наявності і кількості залежать цілющі властивості рослин.

Вивчення хімічної будови і властивостей біологічно активних речовин розпочалося наприкінці XVII ст., коли з рослин було виділено спочатку алкалоїди, згодом серцеві глікозиди, сапоніни, антрахінони, терпеноїди, ефірні олії. Зараз відомо декілька десятків груп і безліч індивідуальних сполук, що мають виражену фармакологічну дію. Таким чином, поняття «діючі речовини» не завжди можна ототожнювати з якимось одним компонентом чи однією групою, зазвичай це комплекс речовин діючих і супутніх. У флорі України фармакологічно активними визначено близько 1000 видів рослин, тобто кожний четвертий-п'ятий вид. Але свої черги очікує решта потенційно лікарських рослин [7].

Поява і збільшення синтетичних ліків, що переважно моделюють природні лікарські речовини, і є їхніми хімічними аналогами, не зменшили ролі лікарських рослин. Так, наприклад, природні серцеві глікозиди складають 80% усіх кардіотонічних ліків. Крім цього, встановлено, що ліки рослинного походження краще, ніж синтетичні, сприймаються організмом людини, у більшості своїй не виявляють токсичної дії, впливають на організм м'яко і стійко. Лікарські рослини застосовуються для лікування хвороб людини і тварин безпосередньо чи є сировиною для хіміко-фармацевтичної промисловості. Із 100 тис. відомих у світі лікарських засобів близько 30 тис. виготовляють із рослин. За даними ВООЗ, у 73 найбільш розвинених державах світу використовуються з лікувальною метою 10 тис. видів рослин. Вивчення

лікарських рослин і природних БАР не може мати завершення. Вчені відкривають нові групи БАР, розширюється номенклатура відомих груп, знаходять нові напрями дії відомих речовин, відкриваються можливості комплексного використання всієї рослини та її речовин. Деякі рослинні сполуки виявили здатність підсилювати, синергувати дію інших БАР.

Дані про хімічний склад рослин мають також важливе значення у рослинництві. Найвичерпніші знання будови, складу й фізіології рослин, технології вирощування, методів аналізу визначають етапи одержання повноцінної лікарської рослинної сировини, а також у подальшому — і лікарських препаратів.

Певна відмінність рослинного світу Сходу і Заходу визначається кількома чинниками: різноманітність ґрунтів, рельєфів та їхні комбінації істотно впливають на рослинний покрив Землі, однак вирішальна роль у його формуванні належить кліматові. Сучасна рослинність склалася внаслідок еволюції рослинного світу і характеризується фітоценотичною структурою (фітоценоз — історично сформоване стійке рослинне угруповання, що займає територію з однотипними ґрунтово-кліматичними умовами), типами життєвих форм, видовим складом, особливостями екологічних зв'язків, історії розвитку.

Лікарська та пряно-ароматична сировина є дикорослою та культивованою. З точки зору ботаніки, дикорослі належать до природної рослинності, а культивовані — до синантропної (антропогенної).

Природна рослинність розвивається самовідновленням за природними законами та дією фізико-географічних чинників без будь-якого втручання людини в її генезис та динаміку, а в разі її участі одні фітоценози не знищують існуючих і не створюють на їх місці нових. Природна рослинність є найбільш адаптованою до сучасних умов навколишнього середовища і утворює найбільш стійкі флороценотичні комплекси. Це сприяє збереженню біорізноманіття, підтримує рівновагу у співвідношенні природної і синантропної рослинності та екологічну рівновагу біосфери в цілому [8].

На планеті залишилось зовсім небагато регіонів, які б не зазнали антропогенного впливу: людина заготовляє лікарські рослини; збирає гриби і ягоди; випасає худобу; полює на диких тварин; відпочиває і розважається на лоні природи. При цьому антропогенний чинник помітно впливає на флору, природну рослинність, але не порушує закономірності розвитку природи.

Синантропна, або антропогенна, рослинність виникає на певній території винятково під впливом діяльності людини у зв'язку з порушенням природних закономірностей, запровадженням та підтриманням у культурі нових форм рослин і утворюваних ними рослинних угруповань, а також появою супровідних видів. До них належать аборигенні види природної флори, які з'явилися там, де вони виникли в процесі еволюції, та адвентивні види, які з'явилися і самостійно поширилися в даній флорі під час цілеспрямованої або випадкової діяльності людини. Синантропна рослинність широко розповсюджена, набуває планетарного поширення та все зростаючого різноманіття. Людина використовує, трансформує місцеву рослинність, збагачує її шляхом введення в культуру інтродукованих видів рослин. До синантропної належить культигенна і бур'яново-рудеральна рослинність.

Культигенна рослинність створена людиною та існує лише в культурі. Навмисне чи випадкове переселення окремих видів, сортів рослин, видопопуляцій і ценозів за межі природного чи культурного ареалу називається інтродукцією рослин. Це один із видів людської діяльності, що має надзвичайно важливе значення для науково-технічного прогресу. Цілеспрямована інтродукція рослин здійснюється людиною з метою збагачення культурної флори певного природно-історичного району чи ботаніко-географічної області новими, продуктивнішими видами, сортами, формами чи їх використанням у селекційній справі [9].

У різних регіонах України функціонують рослинницькі господарства, що спеціалізуються на вирощуванні лікарської сировини. Понад 90 років важливим і дієвим осередком інтродукції рослин є Дослідна станція лікарських рослин УААН (Полтавська обл.), де інтродукційні випробовування пройшли понад 150 видів лікарських рослин, сировинні запаси яких недостатні, виснажені, перебувають на межі зникнення або ж перебувають за межами України. Пошук і мобілізація рослин шляхом експедицій або безпосереднього обміну рослинами надає змогу рослинницьким господарствам зберегти та примножити генетичне різноманіття лікарських рослин, створити нові сорти з високою продуктивністю біомаси та БАР, виявити найбільш перспективні зразки для створення промислових плантацій і збагатити асортимент сировини для виробництва фармацевтичних препаратів.

Бур'яново-рудеральну рослинність складає особлива екологічна група рослин — бур'яни. Вони не вирощуються людиною, а пристосувалися до існування серед культурних видів. До цієї групи рослин належить багато лікарських трав: хвощ польовий, пирій повзучий, кропива дводомна, лопух, омела біла тощо. Для цих рослин характерні схожі з певними культурами біолого-морфологічні ознаки. Разом з тим, дикорослі рослини (що в них у процесі боротьби за існування розвинулись різноманітні біологічні особливості, які дозволяють їм успішно конкурувати з культурними рослинами) за вмістом певних біологічно активних речовин переважають своїх культурних родичів.

У межах розгляду даної теми виникає ще одне поняття — фармакогнозія. Її необхідно розглядати і в історичному аспекті, і в контексті сучасності. У давнину так називали науку, яка вивчала джерела лікарських засобів: лікарські рослини, деякі тваринні організми, природні матеріали. Саме такими лікарськими засобами, як і тисячі років тому, оперує Аюрведа і нині. У сучасній європейській, зокрема вітчизняній, медицині обсяг об'єктів фармакогнозії дещо скоротився. Не залишилося місця мінералам, перелік тваринних організмів обмежується кількома назвами (бджоли, п'явки, зміїна отрута, бодяга). Тому нині європейська фармакогнозія — це наука, що вивчає лише лікарські рослини, лікарську сировину рослинного і тваринного походження, а також продукти їх перероблення.

Безумовно, вилучення з кола лікарських засобів офіційної медицини мінералів і дорогоцінного каміння обмежило її можливості. Адже медики давніх Індії, Китаю, Єгипту вважали літотерапію (від грецького *lythos* — камінь) одним із найважливіших методів природного оздоровлення. Століттями люди вірили, що талісмани та амулети з коштовного каміння приносять їхнім

господарям удачу і захищають від злих сил. Згідно з Аюрведою, коштовне каміння приводить ауру в рівновагу і гармонізує вплив космосу, який передається через зорі. Це не тільки прикраса, а й додатковий засіб, що допомагає налаштуватись в унісон з тонкими енергіями життя, урівноважувати фізичну та психічну природу людини. Лікувальні властивості каміння детально описано в індійських медичних трактатах «Чарака-Самхіта» та «Сушрута-Самхіта» [10]. В рецепти ліків входили майже всі відомі на той час коштовні камені та мінерали.

З цієї точки зору далеко не всі методи Аюрведи зрозумілі сучасній науці, хоча простежується тенденція до поступового їх пояснення та сприйняття. Так відбувається, наприклад, із препаратами ртуті, які в Аюрведі здавна вважались одними із найбільш ефективних, попри те, що ртуть є надзвичайно токсичною сполукою. Сучасні методи досліджень показали, що у фізіологічних концентраціях ртуть відіграє досить важливу роль в організмі, і правильно виготовлені препарати здатні лікувати різні захворювання, включаючи онкологічні. Механізм цього до кінця поки що не зрозумілий.

Можна припустити: в процесі приготування препаратів мінерали багатозразово і довго розтирали (іноді більше року). При цьому в них поступово збільшувався вміст високодисперсних часток. Лише наприкінці XX ст. фізики і хіміки виявили, що частки з нанорозмірами мають принципово нові властивості. Ці дивовижні властивості наука сьогодні активно вивчає. І зрозуміло, що нанотехнології приведуть до революції в багатьох галузях науки.

Уже зазначали, що багато методів Аюрведи незрозумілі з точки зору сучасної науки, однак їх адаптація до вітчизняних умов дає змогу скористатися цією надзвичайно багатою спадщиною. Так, з позицій траволікування, можна стверджувати, що багато трав, які застосовуються вітчизняними фітотерапевтами, або також вирощуються в Індії, або мають аналоги. Сказане підтверджується даними таблиці та їх характеристикою.

Таблиця. Лікарські трави, що використовуються в Україні та Індії

№ поз.	Назва рослини		Смак	Вплив на доші в організмі людини
	В Україні	За Аюрведою		
1	2	3	4	5
1	Алтея лікарська	Алтея лікарська	Солодкий	П В– К+
2	Аронія чорноплідна	—		
3	Беладона звичайна	—		
4	Валеріана лікарська	Валеріана лікарська	Гострий	В К– П+
5	Ехінацея пурпурова	Ехінацея пурпурова	Гіркий, гострий	П К– В+
6	Звіробій звичайний	Звіробій звичайний	Гіркий, гострий	П К– В+
7	Деревій звичайний	Деревій звичайний	Гіркий, гострий, в'язучий	П К– В+
8	Дурман звичайний	—		
9	Женьшень	Належить до спеціальних аюрведичних трав	Гострий, гіркий, солодкий	В– К П ₀

Продовження табл.

1	2	3	4	5
10	Калина звичайна	Калина звичайна	Гіркий, в'яжучий	К В– П+
11	Галега лікарська	—		
12	Кмин звичайний	Кмин звичайний	Гострий	К В– П+
13	Коріандр посівний	Коріандр посівний	Гіркий, гострий	П К В =
14	Кріп городній	—		
15	Лаванда лікарська	—		
16	Меліса лікарська	Меліса лікарська	Гострий, солодкий	К П– В ₀
17	М'ята перцева	М'ята перцева	Гострий	К П– В ₀
18	Нагідки лікарські	—		
19	Подорожник великий	Подорожник великий	В'яжучий, гіркий	П К– В+
20	Ромашка лікарська	Ромашка лікарська	Гіркий, гострий	П К– В ₀
21	Собача кропива п'ятилопатева	—		
22	Солодка гола	Солодка гола	Солодкий, гіркий	В П– К+
23	Стевія	—		
24	Фенхель звичайний	Фенхель звичайний	Солодкий, гострий	В П К=
25	Цмин пісковий	—		
26	Чебрець звичайний	Чебрець звичайний	Гострий	К В– П+
27	Черета трироздільна	—		
28	Шавлія лікарська	Шавлія лікарська	Гострий, солодкий	К В– П+
29	Шипшина (різні види)	Шипшина	Кислий, в'яжучий	В– К П +

Примітка. В описі рослин за Аюрведою знаки «В», «П» та «К» означають конституційні типи людини (доші) Вата, Пітта, Капха [2]; знак «+» — збільшення доші після вживання трави, знак «–» — зменшення доші, «ВПК=» — рівновага всіх трьох дош, «₀» — нейтральна дія трави на організм людини.

Дані таблиці показують, що людина містить у собі всі стихії; у рослині, згідно з Аюрведою, приховано потенціал людської істоти. І навпаки: в людині присутня основна енергетична структура рослини, тому в Україні і кажуть, що людина має здатність безпосереднього спілкування з рослиною.

Висновки

Методи Аюрведи з використання лікарських трав та інших природних матеріалів є дуже цікавими для вивчення, оскільки сучасна європейська медицина орієнтована лише на лікування хвороб, а для Аюрведи завжди була і залишається основною проблема зробити здорову людину ще досконалішою і з'ясувати межу її можливостей.

Мистецтво використання природних матеріалів складає одну з важливих частин аюрведичного знання. У сучасних умовах простежується тенденція до поступового сприйняття, запровадження та розширення масштабів застосування аюрведичних методів, у тому числі траволікування, у вітчизняній практиці.

Література

1. Лад В. Травы и специи / Васант Лад, Давид Фроули ; пер. с англ. — 11-е изд. — Москва : Саттва, Профиль, 2015. — 320 с.
2. Фроули Д. Аюрведическая терапия / Давид Фроули ; пер. с англ. — 10-е изд. — Москва : Саттва, Профиль, 2015. — 448 с.
3. Формазюк В.И. Энциклопедия пищевых лекарственных растений / В.И. Формазюк. — Киев : А. С. К., 2003. — 792 с.
4. Товароведение и инновационные технологии переработки лекарственно-технического растительного сырья : уч. пособие / Р.Ю. Павлюк, В.В. Погарская, В.В. Яницкий, В.А. Павлюк и др. — Харьков : ХГУПТ, 2013. — 429 с.
5. Сімахіна Г.О. Біокомплекс дикорослої сировини як компонент функціональних продуктів для спецконтингентів / Г.О. Сімахіна, С.В. Халапсіна // Харчова промисловість. — 2016. — № 19. — С. 25—30.
6. Даш Б. Алхимия и применение лекарств на основе металлов в аюрведе / Бхагван Даш ; пер. с англ. — Москва : Саттва, Профиль, 2014. — 240 с.
7. Сербін А.Г. Фармацевтична ботаніка : підручник / А.Г. Сербін, Л.М. Сіра, Т.О. Слободянюк. — Вінниця : Нова книга, 2007. — 488 с.
8. Данилишин Б.М. Природно-ресурсний потенціал сталого розвитку України / Б.М. Данилишин, С.І. Дорогунцов, В.С. Міщенко. — Київ: РАПС України, 1999. — 716 с.
9. Кобзар А.Я. Фрамакогнозія в медицині : навч. посібник / А.Я. Кобзар. — Київ : Медицина, 2007. — 544 с.
10. Bhishagratna K.L. Trans. Sushruta Samhita. Varanasi, India : Chowkhamba Sanskrit Series, 1981. 1021 p.; Sharma, R.K., Bhagwan Dash, trans. Charak Samhita. Varanasi, India : Chowkhamba Sanskrit Series, 1977. 979 p.

ЛЕКАРСТВЕННЫЕ ТРАВЫ КАК ВАЖНАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ АЮРВЕДИЧЕСКОЙ И ОТЕЧЕСТВЕННОЙ СИСТЕМ ОЗДОРОВЛЕНИЯ

Г.А. Симахина, Н.В. Науменко

Национальный университет пищевых технологий

Интерес к траволечению, распространенному на Востоке, в современных условиях все больше возрастает и в странах Америки, Западной и Восточной Европы. Эта тенденция — следствие ухудшения экологической ситуации в мире, что обусловило рост популярности нетрадиционных методов лечения с применением натуральных средств, прежде всего трав. В статье на основании литературных данных и собственных исследований выяснена перспективность использования лекарственных трав и пряно-ароматического сырья для профилактики и лечения заболеваний, а также в производстве пищевых продуктов; наведены характеристики дикорастущей и синантропной растительности, распространенной как в Индии, так и в Украине.

Ключевые слова: Аюрведа, лекарственные травы, биокомпоненты, растительность, фармакогнозия, официальная медицина.

RHEOLOGICAL APPROACH TO ROLLER PUMPING OF THE ENVIRONMENT

O. Shevchenko, N. Tkachuk

National University of Food Technologies

I. Stadnyk, A. Derkach

Ternopil Ivan Puluj National Technical University

Key words:

*Three phase medium
Rollers
Rheology
Shear strain
Dough
Gas phase*

ABSTRACT

The analysis of model representations of three-phase environment and their behavior during deformation effects in the bulk feed rollers was performed. The lack of reliability was specified and the patterns of rational and geometric parameters were established. The influence of engineering rheology on the environment was studied and the analytical mechanical model for determining the optimum value of shear strain was developed on its basis to ensure the reliable operation of a roller pumping mechanism.

Article history:

Received 06.11.2016

Received in revised form

18.11.2016

Accepted 14.12.2016

Corresponding author:

O. Shevchenko

E-mail:

[npnuht@ukr.net](mailto:npuht@ukr.net)

РЕОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО ВАЛКОВОГО НАГНІТАННЯ СЕРЕДОВИЩА

О.Ю. Шевченко, Н.А. Ткачук

Національний університет харчових технологій

І.Я. Стадник, А.В. Деркач

Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя

У статті проведено аналіз модельних представлень трифазового середовища та описано їхню поведінку при деформаційних впливах в об'ємній подачі валками, відзначено недостатню надійність їх роботи та встановлено закономірності й раціональні геометричні параметри. Розглянуто вплив інженерної реології на середовище та на її основі виведено аналітичну механічну модель для визначення оптимального значення деформації зсуву з метою забезпечення надійної роботи валкового нагнітального механізму.

Ключові слова: трифазове середовище, валки, реологія, деформація зсуву, тісто, газова фаза.

Постановка проблеми. Хлібопекарській і кондитерській промисловості притаманна своя специфіка й різноманітність технологічних процесів, тому

машинобудівна промисловість випускає для неї обладнання великої номенклатури, в ряді випадків металомісне та кінематично складне. Характерною особливістю формувального обладнання (ФО) є наявність валкових рухомих робочих органів, що механічно впливають на середовище при безпосередньому контакті з ним.

В Україні і за кордоном ведуться інтенсивні роботи з розробки нового покоління високоефективного обладнання для згаданої промисловості з використанням різних конструкцій валкових робочих органів. Основною вимогою до проектування такого обладнання є розробка конструкцій за технічними характеристиками замовника в короткий інтервал часу з малими витратами і високою надійністю. Індустріальні технології потребують розробки автоматизованих комплексів із комп'ютерним програмним управлінням, які нададуть можливість оперативно реагувати на сьогоденні вимоги до довговічності і якості роботи машин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З аналізу даних літературних джерел і досліджень підприємств кондитерської промисловості випливає, що якість виконуваної роботи валками залежить від комплексу параметрів, які можна поділити на такі категорії:

- форма, кінематика, стан і геометричні параметри валка;
- експлуатаційні умови роботи: зазор між валками, зусилля взаємного стискання середовища, частота їх обертання;
- фізико-хімічні властивості середовища;
- особливості тертя в рідких електропровідних середовищах.

Робочі середовища даних галузей за своїм складом і природою дуже різноманітні. Їх умовно можна розділити на газоподібні, рідкі, тверді, що містять хімічні та поверхнево-активні речовини.

Значна кількість речовин у середовищі, зміна їх концентрацій, взаємодія між ними і мікроорганізмами, наявність стимуляторів, тощо призводять до відносної нестабільності системи. За таких умов досить складно оцінювати впливи окремих факторів. З першого погляду може здатися, що в найкращому випадку мають відповідати максимальні значення на верхніх рівнях факторів впливу. Проте негативні наслідки також слід програмувати, наприклад, за величинами осмотичних тисків, подвійних і потрійних впливів факторів, погіршення якісних показників продукції тощо.

Оцінювати впливи комбінацій факторів тим більш складно. Якщо вплив температури ретельно можна відслідкувати, то стосовно впливу тиску єдиної точки зору не існує [1]. Проте положення термодинаміки тісно пов'язують параметри тиску і температури в газових законах, рівнянні Менделєєва-Клапейрона, законі Генрі тощо.

Оскільки такі впливи, як дія валків на тісто, досліджено недостатньо, то для правильного вибору їх характеристик, в умовах різних значень температур, тисків, а також для вивчення природи цього процесу велике значення має визначення дійсної швидкості реологічного процесу.

Утворювана диспергована газова фаза, що подається на валки є кількома-компонентною і такою, що складається з діоксиду вуглецю та частково з випаровувань води, спирту та інших речовин. Проте в цій диспергованій фазі

переважає тверда частка, тому в подальшому будемо орієнтуватися на трифазову систему.

Оцінку впливу валків можна здійснити на основі закону Архімеда, прояв якого має місце в дії на дисперговану газову фазу. За визначеної газотримувальної здатності досягається можливість за вказаним законом визначити загальну силову дію на середовище. При цьому вважаємо, що ця рушійна сила розсосереджена в масиві тіста. Така особливість силової дії у повному об'ємі середовища з певним припущенням може сприйматися аналогами напружень і напружених станів. Проте, на відміну від понять напружених станів у твердих тілах, у даному випадку існує певна особливість, суть якої полягає в тому, що середовище перебуває в динамічному стані з порушенням його умови суцільності.

Відомо [2; 3], що газотримувальна здатність середовища визначається величиною генерованого газового потоку, та залежить від швидкості спливання бульбашок газової фази. При цьому розрізняють швидкість абсолютну і відносну. Саме відносна швидкість визначає, за інших рівних умов, опір переміщенню бульбашок рідинної фази в деформованому тісті. Оскільки опір визначається фізико-хімічними властивостями середовища, то він залежить від геометрії нагнітального механізму, рівномірності розподілення потоку газової фази, організації перехідних процесів, збурень, усталених режимів тощо.

Швидкоплинне наростання внутрішнього тиску в тістовій заготовці відбувається через розширення газової фази з відповідним доповненням її кількості у зв'язку з десорбцією розчиненої частини газової фази. Очевидно, що такий перехідний процес стосується не лише газової фази, а й рідинної, оскільки збільшення об'єму газової фази визначає зростання об'єму трифазової суміші і переміщення фаз [3].

Мета дослідження: розробити аналітичну механічну модель для визначення оптимального значення деформації зсуву в процесі нагнітання тіста валками.

Викладення основних результатів дослідження. Для машин з валковими робочими органами основними функціями є надання заготовкам потрібної форми і розмірів, точності дозування і якості виробів, швидкості й тривалості деформації. Для збереження форми і якості виробів валкові машини повинні забезпечити мінімальну кратність обробки маси і створити необхідний тиск для надання заготовкам необхідної форми. Важливе значення при валковому нагнітанні має поверхня валків і в'язкість оброблюючої маси.

Недостатньо надійна робота валкових тістоподільних, тістомісильних і формувальних машин обумовлена недостатньо розвинутою поверхнею валків, що знижує ефект взаємодії оброблювальних мас з ними. За час розкачування на тістову масу зі сторони робочого органу діє значне навантаження, яке обумовлює течію високов'язкого середовища між двома, близько одна до одної, поверхнями валків. У результаті цих дій заготовка ущільнюється і частково погіршується якість виробу.

На основі ґрунтовного аналізу процесів валкового впливу на середовище встановлено, що під час затягування маси в об'ємі робочої камери нагнітання кінетична крива деформації має три характерні ділянки. Кожна ділянка

відображає певний у часі період процесу. Крива течії характеризує ступінь рівноважного руйнування структури залежно від інтенсивності механічних впливів у всьому можливому діапазоні зміни ефективної в'язкості. З цього випливає, що єдиної формули, яка охоплює всі режими течії і не суперечить наявності лінійних ділянок на реологічній кривій, не може існувати. Жодна формула при скінченних значеннях $\dot{\gamma}$ не може в одному інтервалі давати лінійну, а в іншому — нелінійну залежність [1].

Будь-який реальний матеріал володіє всіма реологічними властивостями, вираженими різною мірою. Відповідно, і дріжджове пшеничне тісто залежно від величини напружень, часу їх дії, швидкості деформації може проявляти пружно-еластичні або пластично-в'язкі властивості [3].

Складність одержання форми, забезпечення формоутримувальних властивостей тіста і визначення раціональних режимів обробки полягає в тісному взаємному зв'язку між кількістю факторів, що впливають на надійність валків та якість процесу і виробу, тобто:

- наявність механічних дій валків на процес, які не дають змоги здійснювати контрольні вимірювання;

- застосування обладнання з валковими робочими органами, що розроблене без врахування структурно-механічних і специфічних властивостей переробляючої сировини (напівфабрикатів);

- наявність зворотних зв'язків між властивостями сировини і конструктивними показниками обладнання, що відбувається без якісного контролю перебігу процесу;

- неможливість впливати на структурно-механічні властивості середовища в період процесу.

Це дає змогу встановити їхні закономірності й обчислити раціональні параметри окремих операцій, тобто ґрунтовно оцінити вплив конструктивних параметрів: робочої камери та поверхні валка при відповідному куті затягування маси; конструктивних елементів на точність проходження процесу та властивості тіста після витікання його із зазору; питоме споживання енергії, надійність і тривалість роботи валкової машини.

Загалом тісто є складним біополімером, деформаційну поведінку якого при механічних впливах можна описати за допомогою загальноприйнятих моделей реологічних тіл. Так, для спрощення складання реологічних рівнянь біотехнологічних систем застосовують механічні моделі (пружину, пару тертя ковзання, циліндр з рідиною і поршень з отворами), що імітують основні властивості простих ідеальних тіл (пружність, пластичність, в'язкість) [4; 6; 7]. Дані моделі можна комбінувати, розташовуючи їх паралельно, послідовно, змішано. Основними реологічними моделями для моделювання тіста є модель пружно-в'язкого тіла з релаксацією деформацій (Максвелла), в'язко-пластичного тіла (Шведова-Бінгама) та деякі інші.

В'язкість ньютонівських рідин, до яких належить тісто, залежить від швидкості деформації під дією зусиль валків, пов'язаною із структурою та його зміною при течії. У свою чергу, текучість тіста залежить від його природи і фізико-механічних властивостей: концентрації, температури, вологості, кислотності, рецептури [5; 6]. Крім того, деформація в зоні нагнітання

не завжди пропорційна навантаженню, тому що на цей процес впливають внутрішнє тертя і зовнішнє [5]. Для опису текучості тіста між валками прийнятним є рівняння течії бінгамівської рідини:

$$\theta = \theta_0 + \eta_{\text{пл}} \dot{\gamma},$$

де θ — напруження зсуву; θ_0 — межа плинності (початкове напруження зсуву); $\eta_{\text{пл}}$ — пластична в'язкість; $\dot{\gamma}$ — швидкість зсуву.

При розрахунку обладнання для валкової обробки тіста необхідно виходити з найбільш імовірних значень його реологічних характеристик, які мають місце на практиці, тому загальна модель деформації буде дорівнювати сумі деформацій, що відбуваються в робочій камері нагнітального вузла машини. Для опису поведінки тіста при дії валків у нагнітальному вузлі формувальної машини запропонована механічна модель, у склад якої входить зміна реології середовища (тіста) за період процесу (рис. 1).

За період дискретної дії валків на тісто напруження зсуву в ньому постійно змінюється. Час прикладання сил деформацій (затягування, стискання, витікання) настільки малий, що миттєво досягається граничне напруження зсуву. Тісто спочатку в'язко-пружно деформується (G, η), а потім, при напруженні, що перевищує граничне напруження зсуву (ГНЗ), воно пластично деформується і починає текти. При стисканні тіста валками відбувається часткове перемішування середовища, його частковий зворотній рух, тому воно проявляє себе подібно до тіла Бінгама, що поєднує пружність, в'язкість, пластичність.

Реологічні рівняння механічної моделі нагнітання тіста валками можна отримати таким чином.

Загальна деформація моделі процесу дорівнює сумі деформацій:

$$d\gamma = d\gamma_3 + d\gamma_c + d\gamma_m,$$

де $d\gamma_3$, $d\gamma_c$, $d\gamma_m$ — деформації, відповідно, тіл Максвелла, Бінгама, Шведова. Беручи похідну від лівої і правої частин рівняння, отримаємо:

$$\frac{d\gamma}{dt} = \frac{d\gamma_3}{dt} + \frac{d\gamma_c + d\gamma_m}{dt}. \quad (1)$$

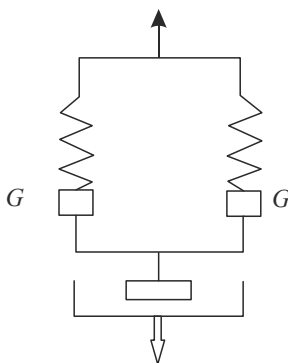


Рис. 1. Реологічна модель тіста при нагнітанні валками

Величину $\frac{d\gamma_3}{dt}$ визначимо з рівняння пружно-в'язкого релаксуючого тіла Максвела, що являє собою послідовно з'єднані моделі Гука і Ньютона:

$$\frac{d\gamma_3}{dt} = \dot{\gamma} = \frac{\dot{\theta}}{G} + \frac{\theta}{\eta}. \quad (2)$$

У міру збільшення часу t деформація збільшується й асимптотично наближається до величини $\dot{\gamma} = \frac{\theta - \theta_T}{\eta_{пл}}$. Отже, деформація не розвивається миттєво,

а затримується за рахунок допустимих умов текучості (зворотній рух).

Відповідно, величина деформації при початковій течії тіста через зазор між валками визначається за рівнянням Шведова [6; 7]:

$$\dot{\gamma} = \frac{\theta - \theta_T}{\eta_{пл}} + \frac{\dot{\theta}}{G}. \quad (3)$$

Загальне рівняння реологічної моделі нагнітання тіста валками матиме такий вигляд:

$$\begin{aligned} \dot{\gamma} &= \frac{\dot{\theta}}{G} + \frac{\theta}{\eta} - \frac{\theta - \theta_T}{\eta_{пл}} + \frac{\theta - \theta_T}{\eta_{пл}} + \frac{\dot{\theta}}{G}; \\ \dot{\gamma} &= \frac{\dot{\theta}}{G} + \frac{\theta}{\eta} + \frac{\dot{\theta}}{G}. \end{aligned} \quad (4)$$

Механічна реологічна модель і її математичний опис (4) потрібні не лише для об'єктивної оцінки консистенції тіста, але і для можливості оцінки на всіх стадіях комплексної механічної обробки. Будемо вважати, що в момент $t = 0$ надано валками напруження θ_0 і в'язка деформація рівна нулю, тому деформація тіста буде рівна тільки пружній деформації:

$$\gamma_0 = \frac{\theta_0}{G}.$$

Дана деформація не змінюється в часі, тобто $\gamma = \gamma_0$, тоді $\dot{\gamma} = 0$, тому рівняння (4) матиме вигляд:

$$\begin{aligned} \frac{\theta}{G} + \frac{\theta}{\eta} + \frac{\theta}{G} &= 0; \\ 2\frac{\dot{\theta}}{G} + \frac{\theta}{\eta} &= 0; \\ \frac{2}{G} \frac{d\theta}{dt} &= -\frac{\theta}{\eta}. \end{aligned}$$

Помножимо обидві частини рівняння на dt / θ :

$$\frac{2}{G} \frac{d\theta}{\theta} = -\frac{1}{\eta} dt;$$

Проінтегрувавши, одержимо:

$$\frac{2}{G} \int \frac{d\theta}{\theta} = -\frac{1}{\eta} \int dt;$$
$$\frac{2}{G} \ln|\theta| = -\frac{1}{\eta} t + c.$$

Сталу інтегрування c визначимо за таких початкових умов: $t = 0$, $\theta = \theta_0$, тоді

$$c = \frac{2}{G} \ln|\theta_0|.$$

Отже,

$$\frac{2}{G} \ln|\theta| = -\frac{1}{\eta} t + \frac{2}{G} \ln|\theta_0|;$$
$$\frac{2}{G} (\ln|\theta| - \ln|\theta_0|) = -\frac{1}{\eta} t;$$
$$\frac{2}{G} \ln \left| \frac{\theta}{\theta_0} \right| = -\frac{1}{\eta} t;$$
$$\ln \left| \frac{\theta}{\theta_0} \right| = -\frac{G}{2\eta} t;$$
$$\frac{\theta}{\theta_0} = e^{-\frac{G}{2\eta} t}.$$

Величина деформації тіста при дії валків становить:

$$\theta = \theta_0 e^{-\frac{G}{2\eta} t}.$$

Деформації тіста не розвивається миттєво, а затримується внаслідок пружних впливів. Величина $\frac{G}{\eta}$ характеризує швидкість затухання деформації.

Якщо $t = 0$, то $\theta = \theta_0$, а якщо $t = T_{\text{рел}} = 2 \frac{\eta}{G}$, то $\theta = \frac{\theta_0}{e}$, тобто період релаксації в тісті — це час, за який напруження падає в e разів, де e — основа натуральних логарифмів. При збільшенні t напруження θ зменшується, а при $t \rightarrow \infty$ тісто переходить у ненапружений стан.

Висновки

Механічна реологічна модель нагнітання тіста валками і її математичний опис потрібні не лише для об'єктивної оцінки консистенції тіста за короткий процес, а й для можливості оцінити його поведінку на всіх стадіях, що дає змогу розробити нові конструкції валкових пристроїв.

Література

1. Горбатов А.В. Реология мясных и молочных продуктов. — Москва : Пищевая промышленность, 1979. — 383 с.
2. Коваль О.В. Удосконалення процесів і модернізація обладнання бродильних виробництв: автореф. дис. ... к.т.н.: 05.18.12 / Коваль О.В. — Київ, 2016. — 20 с.
3. Стадник І.Я. Науково-технічні основи процесів та розробка обладнання для безлопатевого замішування тіста : автореф. дис. ... д-ра. тех. наук. — Київ, 2013. — 42 с.
4. Зайцев А.В., Пеленко Ф.В. Моделирование течения вязкой жидкости в трубе [Электронный ресурс] : электронный научный журнал «Процессы и аппараты пищевых производств». — Электронный журнал. — Санкт-Петербург: СПбГУНиПТ, 2012. — № 1.
5. Николаев Б.А. Измерение структурно-механических свойств мучного теста / Б.А. Николаев. — Москва : Пищевая промышленность, 1976. — 246 с.
6. Гуськов К.П. Реология пищевых масс / К.П. Гуськов, Ю.А. Мачихин, С.А. Мачихин, Л.Н. Лунин. — Москва : Пищевая промышленность, 1970. — 207 с.
7. Мачихин Ю.А. Инженерная реология пищевых материалов / Ю.А. Мачихин, С.А. Мачихин. — Москва : Легкая и пищевая промышленность, 1991. — 216 с.

РЕОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ВАЛКОВОМУ НАГНЕТАНИЮ СРЕДЫ

А.Е. Шевченко, Н.А. Ткачук

Национальный университет пищевых технологий

И.Я. Стадник, А.В. Деркач

Тернопольский национальный технический университет им. И. Пулюя

В статье проведен анализ модельных представлений трехфазной среды и описано их поведение при деформационных воздействиях в объемной подаче валками, отмечена недостаточная надежность их работы, установлены закономерности и рациональные геометрические параметры. Рассмотрено влияние инженерной реологии на среду, и на ее основе выведено аналитическую механическую модель для определения оптимального значения деформации сдвига с целью обеспечения надежной работы валкового нагнетательного механизма.

Ключевые слова: *трехфазная среда, валки, реология, деформация сдвига, тесто, газовая фаза.*

REGRESSION EQUATIONS FOR DETERMINING VOLUMETRIC HEAT CAPACITY c_p OF INTERCRYSTALLINE SUCROSE SOLUTION AT SUGAR MASSECUITE BOILING

T. Pogorilyy

National University of Food Technologies

Key words:	ABSTRACT
<i>Volumetric heat capacity Regression equation Sugar massecuite</i>	The article describes the further stage of creating a mathematical model of mass crystallization of sucrose. When creating an algorithm for determining the distribution of heat and diffusion mass flows between the components of the cell system of "sucrose solution–sugar crystal–massecuite", the regression equations of distributions were found for volumetric heat capacity c_p of intercrystalline sucrose solution throughout the sugar massecuite boiling time. In the equations volumetric heat capacity c_p depends on the current temperature T solution and dry solids DS content in it. Each of the developed regression equations is built on the basis of experimental data obtained by several authors using the method of Ordinary Least Squares.
Article history: Received 09.11.2016 Received in revised form 21.11.2016 Accepted 07.12.2016	
Corresponding author: T. Pogorilyy E-mail: pogorilyytm@ukr.net	

РЕГРЕСІЙНІ РІВНЯННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМНОЇ ТЕПЛОЄМНОСТІ c_p МІЖКРИСТАЛЬНОГО РОЗЧИНУ САХАРОЗИ ПРИ УВАРЮВАННІ ЦУКРОВОГО УТФЕЛЮ

Т.М. Погорілий

Національний університет харчових технологій

У статті реалізовано один із наступних етапів створення математичної моделі процесу масової кристалізації сахарози. При створенні алгоритму проведення розрахунків із визначення розподілу теплових і дифузійних масових потоків між складовими системи комірок «розчин сахарози–кристал цукру–утфель» було знайдено регресійні рівняння для об'ємної теплоємності c_p міжкристального розчину сахарози при уварюванні цукрового утфелю. В отриманих рівняннях величина об'ємної теплоємності c_p залежить від поточної температури T розчину та вмісту сухих речовин CP в ньому. Кожне із знайдених регресійних рівнянь побудовано на основі обробки експериментальних даних, отриманих рядом авторів, із застосуванням методу найменших квадратів.

Ключові слова: об'ємна теплоємність, регресійне рівняння, цукровий утфель.

Постановка проблеми. Усі регресійні рівняння, що наведені в даній статті, стосуються залежності величини об'ємної теплоємності $c \cdot \rho$ міжкристального розчину сахарози при уварюванні цукрового утфелю. Дані для регресійних рівнянь були отримані рядом авторів і наведені в літературних джерелах [1; 2]. Отримані залежності для об'ємної теплоємності $c \cdot \rho$ є достатньо складними й такими, що залежать не лише від поточної температури, а й від технологічних показників міжкристального розчину сахарози: чистота Ч і вміст сухих речовин CP , регресійні рівняння яких вже було знайдено [3], що, у свою чергу, залежать від відносного часу уварювання цукрового утфелю $\tau/\tau_{\text{ц}}$.

При створенні математичної моделі нестационарного процесу тепло- та масообміну в системі комірок *кристал-міжкристальний розчин сахарози-утфель* [4; 5; 6] необхідно врахувати, що між складовими даної системи комірок відбуваються значні перепади градієнта температур. Зважаючи на це, можна зробити висновок, що всі теплофізичні характеристики кожної складової системи (кристалу, міжкристального розчину сахарози й утфелю) матимуть явно виражений нестационарний характер, тому постала необхідність у визначенні аналітичних (регресійних) рівнянь для таких теплофізичних характеристик, як густина ρ , об'ємна теплоємність $c \cdot \rho$ і теплопровідність λ міжкристального розчину сахарози при уварюванні цукрового утфелю. На другому етапі визначено регресійні рівняння для об'ємної теплоємності $c \cdot \rho$ міжкристального розчину сахарози протягом всього часу уварювання цукрового утфелю.

Мета дослідження: знайти регресійні рівняння для об'ємної теплоємності $c \cdot \rho$ міжкристального розчину сахарози при масовому уварюванні цукрового утфелю.

Матеріали і методи. Для вирішення поставленої проблеми були використані програмні продукти (CurveExpert), що базуються на методі найменших квадратів. Створення регресійних кривих було здійснено на основі експериментальних даних ряду авторів, широко висвітлених у літературі [1; 2].

Пошук регресійних рівнянь для об'ємної теплоємності $c \cdot \rho$ міжкристального розчину сахарози проводився на всьому інтервалі уварювання цукрового утфелю $0 \leq \tau/\tau_{\text{ц}} \leq 1$. Критерієм адекватності знайдених регресійних рівнянь слугували коефіцієнт кореляції r , ($0 \leq r \leq 1$), який повинен якомога більше прагнути до одиниці, $r \rightarrow 1$, та середньо квадратичне відхилення s , яке повинно якомога більше прагнути до нуля $s \rightarrow 0$.

Результати і обговорення. Наведемо отримані регресійні рівняння для визначення об'ємної теплоємності $c \cdot \rho$ міжкристального розчину сахарози.

Величина об'ємної теплоємності $c \cdot \rho$ в даному випадку залежатиме від двох змінних — вмісту сухих речовин CP , де величина CP змінюється в межах $\text{CP} \in [0 \dots 90]$, % та величини температури T , $T \in [40 \dots 120]$, °C.

Таким чином, було проведено ряд досліджень, та знайдено узагальнений вигляд регресійного рівняння у вигляді полінома третього порядку:

$$c \cdot \rho(T, \text{CP}) = a_{c \cdot \rho 3, i}(\text{CP}) + b_{c \cdot \rho 3, i}(\text{CP}) \cdot T + c_{c \cdot \rho 3, i}(\text{CP}) \cdot T^2 + d_{c \cdot \rho 3, i}(\text{CP}) \cdot T^3; \quad (1)$$

$$40 \leq T \leq 120,$$

що найкращим чином описує зміни функції об'ємної теплоємності $c \cdot \rho$, і в той же час є найбільш простим з усіх знайдених регресійних кривих по даному пункту. Серед усіх отриманих регресійних рівнянь у вигляді полінома третього порядку як показник адекватності отриманих рівнянь було вибрано мінімальний коефіцієнт кореляції, що складає $r = 0,9985547$, та відповідне йому значення середньо квадратичного відхилення $s = 1332,6435200$.

У свою чергу коефіцієнти $a_{c \cdot \rho_{3,i}}(CP)$, $b_{c \cdot \rho_{3,i}}(CP)$, $c_{c \cdot \rho_{3,i}}(CP)$ і $d_{c \cdot \rho_{3,i}}(CP)$, $i = 1, 2, \dots$ є залежними від змінної величини вмісту сухих речовин CP міжкристального розчину сахарози при умові, що CP змінювались у межах $0 \leq CP \leq 90$, %. Регресійні рівняння для них окремо наведено нижче.

Регресійні рівняння для коефіцієнтів $a_{c \cdot \rho_{3,i}}(CP)$, $1 \leq i \leq 3$, отримали у такому вигляді:

а)

$$a_{c \cdot \rho_{3,1}}(CP) = 4117015,2 - 7943,6578 \cdot CP + 29,011496 \cdot CP^2 - 1,104104 \cdot CP^3, \quad 0 \leq CP \leq 90, \quad (2)$$

з коефіцієнтом кореляції $r = 0,9994464$ та середньо квадратичним відхиленням $s = 17231,2341333$;

б)

$$a_{c \cdot \rho_{3,2}}(CP) = 4094337,9 - 2496,0046 \cdot CP - 124,85784 \cdot CP^2, \quad 0 \leq CP \leq 90, \quad (3)$$

з коефіцієнтом кореляції $r = 0,9983172$ та середньо квадратичним відхиленням $s = 27806,1818821$;

в)

$$a_{c \cdot \rho_{3,3}}(CP) = 4239874,2 - 13963,965 \cdot CP, \quad 0 \leq CP \leq 90, \quad (4)$$

з коефіцієнтом кореляції $r = 0,9753647$ та середньо квадратичним відхиленням $s = 98947,0530924$.

Регресійні рівняння для коефіцієнтів $b_{c \cdot \rho_{3,i}}(CP)$, $1 \leq i \leq 3$ отримали у такому вигляді:

а)

$$b_{c \cdot \rho_{3,1}}(CP) = -488,60332 + 232,78349 \cdot CP - 6,3951695 \cdot CP^2 + 0,057945076 \cdot CP^3, \quad 0 \leq CP \leq 90 \quad (5)$$

з коефіцієнтом кореляції $r = 0,9855805$ та середньо квадратичним відхиленням $s = 713,4739370$;

б)

$$b_{c \cdot \rho_{3,2}}(CP) = 701,5397 - 53,11773 \cdot CP + 1,6801301 \cdot CP^2, \quad 0 \leq CP \leq 90, \quad (6)$$

з коефіцієнтом кореляції $r = 0,9368160$ та середньо квадратичним відхиленням $s = 1365,6295400$;

в)

$$b_{c-p3,3}(CP) = -1256,8469 + 101,19909 \cdot CP, \quad 0 \leq CP \leq 90, \quad (7)$$

з коефіцієнтом кореляції $r = 0,8682530$ та середньо квадратичним відхиленням $s = 1811,6633527$.

Регресійні рівняння для коефіцієнтів $c_{c-p3,i}(CP)$, $1 \leq i \leq 2$ отримали у такому вигляді:

а)

$$c_{c-p3,1}(CP) = 2,5376184 + 29,137641 \cdot \cos(0,0800001 \cdot CP - 4,9740459), \quad (8)$$

$$0 \leq CP \leq 90,$$

з коефіцієнтом кореляції $r = 0,9393440$ та середньо квадратичним відхиленням $s = 8,7749499$;

б)

$$c_{c-p3,2}(CP) = 5,3870607 - 3,2552702 \cdot CP + 0,11447042 \cdot CP^2 - \quad (9)$$

$$-0,00090877682 \cdot CP^3, \quad 0 \leq CP \leq 90,$$

з коефіцієнтом кореляції $r = 0,9094789$ та середньо квадратичним відхиленням $s = 10,6368385$.

Регресійні рівняння для коефіцієнтів $d_{c-p3,i}(CP)$, $1 \leq i \leq 2$ отримали у такому вигляді:

а)

$$d_{c-p3,1}(CP) = -0,063170727 + 0,13079694 \cdot \quad (10)$$

$$\cdot \cos(0,078954083 \cdot CP - 1,7927001), \quad 0 \leq CP \leq 90,$$

з коефіцієнтом кореляції $r = 0,9392546$ та середньо квадратичним відхиленням $s = 0,0391859$;

б)

$$d_{c-p3,2}(CP) = -0,072478637 + 0,014504677 \cdot CP - 0,00051068585 \cdot CP^2 + \quad (11)$$

$$+ 4,0406025 \cdot 10^{-6} \cdot CP^3, \quad 0 \leq CP \leq 90,$$

з коефіцієнтом кореляції $r = 0,9079080$ та середньо квадратичним відхиленням $s = 0,0478571$.

Далі, для об'ємної теплоємності $c \cdot \rho$ міжкристального розчину сахарози, що залежить від двох змінних — вмісту сухих речовин CP на інтервалі $CP \in [0 \dots 90]$, % і температури T , $T \in [40 \dots 120]$, °C, було також отримано вираз узагальнюючого регресійного рівняння у вигляді полінома другого порядку:

$$c \cdot \rho(T, CP) = a_{c-p2,i}(CP) + b_{c-p2,i}(CP) \cdot T + c_{c-p2,i}(CP) \cdot T^2, \quad 40 \leq T \leq 120, \quad (12)$$

що найкращим чином описує зміни функції об'ємної теплоємності $c \cdot \rho$, але в той же час є більш простим з усіх інших знайдених варіантів регресійних кривих. Серед усіх отриманих регресійних рівнянь у вигляді полінома другого порядку як показник адекватності отриманих рівнянь було вибрано

мінімальний коефіцієнт кореляції, що складає $r = 0,9982498$, та середньо квадратичним відхиленням $s = 2554,3440766$.

Коефіцієнти $a_{c-p2,i}(CP)$, $b_{c-p2,i}(CP)$ та $c_{c-p2,i}(CP)$, $i = 1,2,3$, що в даному випадку залежать лише від величини вмісту сухих речовин CP на інтервалі $0 \leq CP \leq 90$, % міжкристального розчину сахарози, окремо наведено нижче.

Регресійні рівняння для коефіцієнтів $a_{c-p2,i}(CP)$, $1 \leq i \leq 3$ отримали у такому вигляді:

а)

$$a_{c-p2,1}(CP) = 4085197,8 - 1594,0183 \cdot CP - 194,35258 \cdot CP^2 + 0,66269217 \cdot CP^3, \quad 0 \leq CP \leq 90, \quad (13)$$

з коефіцієнтом кореляції $r = 0,9995716$ та середньо квадратичним відхиленням $s = 15311,5573382$;

б)

$$a_{c-p2,2}(CP) = 4098808,9 - 4863,7439 \cdot CP - 101,99896 \cdot CP^2, \quad 0 \leq CP \leq 90, \quad (14)$$

з коефіцієнтом кореляції $r = 0,9991730$ та середньо квадратичним відхиленням $s = 19692,8388673$;

в)

$$a_{c-p2,3}(CP) = 4217700,6 - 14232,158 \cdot CP, \quad 0 \leq CP \leq 90, \quad (15)$$

з коефіцієнтом кореляції $r = 0,9842316$ та середньо квадратичним відхиленням $s = 80135,1029680$.

Регресійні рівняння для коефіцієнтів $b_{c-p2,i}(CP)$, $1 \leq i \leq 3$ отримали у такому вигляді:

а)

$$b_{c-p2,1}(CP) = 838,25384 - 32,46306 \cdot CP + 2,9407779 \cdot CP^2 - 0,015915912 \cdot CP^3, \quad 0 \leq CP \leq 90, \quad (16)$$

з коефіцієнтом кореляції $r = 0,9981083$ та середньо квадратичним відхиленням $s = 254,5728223$;

б)

$$b_{c-p2,2}(CP) = 511,35442 + 46,066108 \cdot CP + 0,72271613 \cdot CP^2, \quad 0 \leq CP \leq 90, \quad (17)$$

з коефіцієнтом кореляції $r = 0,9944276$ та середньо квадратичним відхиленням $s = 404,1425860$;

в)

$$b_{c-p2,3}(CP) = -331,0551 + 112,44624 \cdot CP, \quad 0 \leq CP \leq 90, \quad (18)$$

з коефіцієнтом кореляції $r = 0,9824154$ та середньо квадратичним відхиленням $s = 669,5332558$.

Регресійні рівняння для коефіцієнтів $c_{c-p2,i}(CP)$, $1 \leq i \leq 2$ отримали у такому вигляді:

а)

$$c_{c-p2,1}(CP) = -12,59562 + 2,446758 \cdot \cos(0,0663419 \cdot CP - 1,3769395), \quad (19)$$

$$0 \leq CP \leq 90,$$

з коефіцієнтом кореляції $r = 0,8857128$ та середньо квадратичним відхиленням $s = 1,0569814$;

б)

$$c_{c-p2,2}(CP) = -12,021482 + 0,22772526 \cdot CP - 0,0081522174 \cdot CP^2 +$$

$$+ 6,1418045 \cdot 10^{-5} \cdot CP^3, \quad 0 \leq CP \leq 90, \quad (20)$$

з коефіцієнтом кореляції $r = 0,8655577$ та середньо квадратичним відхиленням $s = 1,1402578$.

Висновки

У результаті проведених досліджень отримано регресійні рівняння для об'ємної теплоємності c_p міжкристального розчину сахарози протягом усього періоду уварювання цукрового утфелю $0 \leq \tau/\tau_{\text{ц}} \leq 1$. Отримані регресійні рівняння залежать від поточної температури T та вмісту сухих речовин CP у міжкристальному розчині сахарози цукрового утфелю.

Наступним етапом у створенні математичної моделі процесу масової кристалізації сахарози є пошук регресійних рівнянь для такої теплофізичної характеристики, як теплопровідність λ міжкристального розчину сахарози протягом усього періоду уварювання цукрового утфелю.

Література

1. Попов В.Д. Основы теории тепло- и массообмена при кристаллизации сахарозы / В.Д. Попов. — Москва : Пищевая промышленность, 1973. — 316с.
2. Кулинченко В.Р. Промышленная кристаллизация сахаристых веществ : Монография / В.Р. Кулинченко, В.Г. Мирончук. — Киев : НУПТ, 2012. — 426 с.
3. Погорілий Т.М. Регресійні рівняння для визначення чистоти χ і сухих речовин CP міжкристального розчину сахарози при уварюванні цукрового утфелю / Т.М. Погорілий // Наукові праці Національного університету харчових технологій. — Київ : 2016. — Т. 22, № 5. — С. 142—157.
4. Pogorilyy T. The distribution of temperatures in the sucrose solution–sugar crystal–sucrose solution–massecuite cells depending on the boiling sugar massecuite time // Ukrainian Journal of Food Science. — Kyiv. — 2015. — Volume 3, Issue 1. — P. 139—148.
5. Pogorilyy T. Temperatures distribution in the «larger sugar crystal–larger crystal sucrose solution–less crystal sugar sucrose solution–smaller sugar crystal–massecuite» cells system depending on the boiling sugar massecuite time // Ukrainian Food Journal. — Kyiv. — 2015. — Volume 4, Issue 4. — P. 648—661.
6. Pogorilyy T. Simultaneous unsteady calculation of temperature distribution in the «larger sugar crystal–larger sugar crystal sucrose solution–less sugar crystal sucrose solution–smaller sugar crystal–massecuite» system cells and sucrose solutions cells concentrations in the same system depending on the boiling sugar massecuite time // Ukrainian Journal of Food Science. — Kyiv. — 2015. — Volume 3, Issue 2 — P. 322—341.

РЕГРЕССИОННЫЕ УРАВНЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМНОЙ ТЕПЛОЕМКОСТИ c_p МЕЖКРИСТАЛЬНОГО РАСТВОРА САХАРОЗЫ ПРИ УВАРИВАНИИ САХАРНОГО УТФЕЛЯ

Т.М. Погорелый

Национальный университет пищевых технологий

В статье реализован один из следующих этапов создания математической модели процесса массовой кристаллизации сахарозы. При создании алгоритма проведения расчетов по распределению тепловых и диффузных массовых потоков между составляющими системы ячеек «раствор сахарозы–кристалл сахара–утфель» были найдены регрессионные уравнения для объемной теплоемкости c_p межкристального раствора сахарозы при уваривании сахарного утфеля. В полученных уравнениях объемная теплоемкость c_p зависит от текущей температуры T раствора и содержания сухих веществ СВ в нем. Каждое из найденных регрессионных уравнений построено на основе обработки экспериментальных данных, полученных рядом авторов, с применением метода наименьших квадратов.

Ключевые слова: *объемная теплоемкость, регрессионные уравнения, сахарный утфель.*

УДК 663.18; 573.6.086.835

CLASSIFICATION AND ANALYSIS OF THE PERFORMANCE OF INDUSTRIAL FERMENTERS SUPPLYING ENERGY IN A LIQUID PHASE

A. Kopylenko

National University of Food Technologies

M. Kutovoy, V. Povodzinskiy, V. Shybetsky

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Key words:

*Biotechnology
Biological agent
Fermenter
Ejector
Ink jet aeration
Self-priming mixer*

Article history:

Received 16.11.2016

Received in revised form
08.12.2016

Accepted 24.12.2016

Corresponding author:

A. Kopylenko

E-mail:

npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The modern classification of industrial fermenters of energy supply in a liquid phase is proposed in the article. Energy supply is initiated by different structures, which are the part of the devices for the aerobic biosynthesis. The gas-liquid dispersion flow configuration was estimated that determines the effectiveness of culture fluid homogenization. The possibility of using this type of fermenters in biotechnology of large tone microbial masses was identified. The systematization of information on structural features of the fermenters supplying energy in a liquid phase was conducted, as well as the analysis of fermenter types.

КЛАСИФІКАЦІЯ ТА АНАЛІЗ РОБОТИ ПРОМИСЛОВИХ ФЕРМЕНТЕРІВ З ПІДВЕДЕННЯМ ЕНЕРГІЇ РІДКОЮ ФАЗОЮ

А.В. Копиленко

Національний університет харчових технологій

М.Г. Кутовий, В.М. Поводзинський, В.Ю. Шибецький

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

У статті запропоновано сучасну класифікацію промислових ферментерів з підведенням енергії рідкою фазою. Підведення енергії ініційоване різноманітними конструкціями, якими оснащені апарати для аеробного біосинтезу. Оцінено конфігурацію потоків газорідинної дисперсії, що визначає ефективність гомогенізації культуральної рідини. Визначено можливості застосу-

вання ферментерів даного типу в біотехнології крупнотоннажного виробництва мікробних мас.

Ключові слова: біотехнологія, біологічний агент, ферментер, ежектор, струменева аерація, самовсмоктуюча мішалка.

Постановка проблеми. Конструювання ефективних промислових ферментерів є обов'язковою умовою прогресу в біотехнології, що зумовлює забезпечення біологічних агентів (БА) оптимальними умовами зовнішнього оточення. Підтвердженням даної концепції є те, що серед прикладів апаратурного оформлення процесів біотехнології найбільш популярні розробки апаратурного оснащення для стадії культивування БА. Специфічні вимоги до конструювання ферментерів що обумовлені фенотипом БА, достатньо ґрунтовно представлені у літературі [1—7] і вони, як правило, орієнтовані на інтенсифікацію масообмінних характеристик ферментеру при виробництві біомаси та метаболітів або мають своєю метою створення ексклюзивних умов культивування клітинних культур при виробництві активних фармацевтичних інгредієнтів, таких як рекомбінантні білки, пептиди тощо.

Метою статті є аналіз роботи та класифікації промислових ферментерів з різними способами підведення енергії в культуральну рідину (КР) в процесі культивування[8; 9].

Виклад основних результатів дослідження. Серед конструкцій ферментерів найбільш поширені апарати з підведенням енергії компримованим газом, механічним перемішувальним пристроєм або струменем рідини.

У статті проведена систематизація інформації про конструкційні особливості ферментерів з підведенням енергії рідинною фазою, оцінено можливості їх використання в біотехнології та фармації, проаналізовано принципи роботи ферментерів даного типу та їх класифікація. Проведене дослідження дасть змогу розробити базові засади формування технічного завдання, основ проектного розрахунку, виявити шляхи інтенсифікації і регулювання біотехнологічних процесів, а також окреслити можливі напрямки конструювання ферментерів даного типу.

Апріорі потрібно зауважити, що ферментери з підведенням енергії рідинною фазою малоприсадибні для виробництва продуктів тонкого мікробного синтезу, також їх використання малоперспективне для асептичних виробництв. Відсутність систем повітропостачання, що є основними споживачами електроенергії, та простота конструкції обумовлюють перспективність даного напрямку конструювання ферментерів для аеробного біосинтезу.

Ферментери з підведенням енергії рідкою фазою можливо умовно розділити на групи залежно від типу генератора енергії, що передає енергію рідкій фазі — культуральній рідині у спеціалізованому пристрої — ежекторі, циркуляційному насосі або у мішалці. Ферментери з ежектором дають змогу сформувати контур, в якому циркулює газорідинна дисперсія КР і газ, що поступає з атмосфери при циркуляції. Циркуляційні насоси надають можливість сформувати два типи струменевих потоків у зовнішньому

циркуляційному контурі ферментера — падаючий і затоплений струмінь культуральної рідини. Самовсмоктуюча мішалка формує інтенсивний циркуляційний потік газорідної дисперсії без участі зовнішніх джерел повітропостачання (рис. 1).



Рис. 1. Класифікація ферментерів з підведення енергії рідкою фазою

Загальною ознакою ежекційних ферментерів є наявність насоса й ежектора (рис. 2), конструкційні параметри якого (продуктивність, рівень дисперсності газової фази) розраховуються індивідуально. Зважаючи на відсутність надійних методик розрахунку апаратів даного типу, вибір параметрів роботи здійснюють за [10]. Перевага апаратів такого типу — це можливість рециркуляції газової фази, що є особливо важливим при використанні як субстрату природного газу та при аерації середовища киснем чи повітрям з підвищеним вмістом кисню.

Ефективність аерації середовища обумовлюється процесами, що відбуваються в камері змішування ежектора (рис. 3), в якій швидкості потоків рідини — швидкісний потік від насоса та газу — потік низького тиску — вирівнюються, що супроводжується збільшенням тиску. З камери змішування потік поступає в зону звуження перерізу потоку, що супроводжується зниженням тиску і забором газової фази. В дифузорі відбувається ріст тиску за рахунок уповільнення швидкості потоків. Тиск змішаного потоку на виході з дифузора вищий за тиск ежекційного потоку, що поступає в приймальну камеру, а отже, взаємодія між потоками відбувається за високої концентрації енергії. У результаті перебігу цього процесу збільшується рівень дисперсності газової фази. В апаратах ежекторного типу в зоні формування газорідної дисперсії може утворюватись поверхня контакту фаз на порядок вища, ніж в апаратах з механічними перемішувачами.

Стосовно ефективності використання енергії, що вводиться в систему відцентровим насосом, то її приблизно можна оцінити по коефіцієнту корисної дії насоса.

Ферментери з ежекційною системою аерації знайшли своє використання в процесах культивування БА, що стійкі до значних енергій зрізових зусиль, які виникають як у насосі, так і в ежекторі.

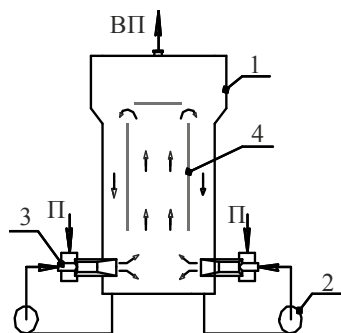


Рис. 2. Ферментер з ежекційною системою:
1 — корпус, 2 — насос,
3 — ежекційний пристрій,
4 — дифузор-теплообмінник;
ВП — вихід відпрацьованого
повітря; П — повітря

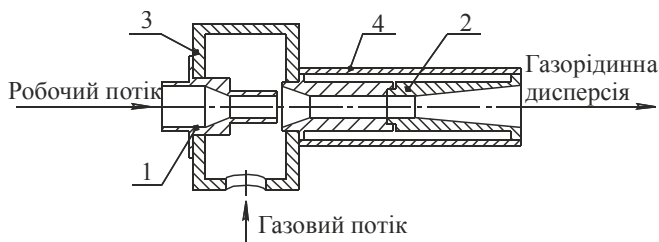


Рис. 3. Схема ежектора:
1 — робоче сопло; 2 — дифузор;
3 — камера змішування; 4 — корпус

Ферментер струменевого типу (рис. 4) поєднує наявність типових конструкційних елементів — зовнішнього циркуляційного контуру з насосом і за необхідності з виносним теплообмінником, ежектора та елементів конструкції аераційного пристрою — струменевого аератора, що формує направлений потік газорідинної дисперсії. Характерною особливістю ферментерів даного типу є те, що рух рідини в зовнішньому циркуляційному контурі під дією імпульсу енергії спричиняє аераційний ефект (внесення газової фази в рідину), так і інтенсивну диспергацію газової фази, що реалізується у спеціалізованій робочій зоні ежектора. Інтенсивність масопередачі кисню, як основного лімітуючого субстрату, пропорційна енергії, що вводиться в систему рідинним насосом. Серед відомих промислових ферментерів можна виділити апарати з потоком, що занурений в об'єм рідини (занурений струмінь, затоплений канал, затоплене сопло) та ті апарати, в яких рідина диспергується над поверхнею КР (падаючий струмінь). Енергія рідинної фази дає змогу забезпечити ежекційний ефект, що призводить до інтенсивної диспергації газової фази, а також створити макротурбулентне перемішування в циркуляційному контурі теплообмінника.

Одним із перших ферментерів, у якому був використаний спосіб струменевої аерації середовища потоком культуральної рідини, є струменевий генератор Фрінгса (рис. 5), у промисловому виробництві спиртового оцту при використанні бактерій *Acetobacter aceti* [11].

У технології виробництва оцту циркуляційним способом, що близький до «методу Шуценбаха» з використанням струменевого генератора Фрінгса, ферментер являє собою зрошувальний біофільтр об'ємом до 60 м³ із завантаженням з букової стружки, на поверхні якої імібілізовані у вигляді слизових плівок оцтовокислі бактерії. Ферментер герметичний, має дерев'яну решітку, на якій розташований шар букової стружки. Частково зброджений розчин циркуляційним насосом через теплообмінник поступає в систему зрошува-

ння, у склад якої входить ежектор і диспергатор з повітропроводом. Повітря по трубопроводу в ежектор поступає з атмосфери за рахунок розрідження через клапани з фільтрами, що розташовані в нижній частині ферментера. Використання даної конструкції ферментера надає можливість інтенсифікувати виробничий процес і досягти виходу цільового продукту в кількості 6—8 кг оцтової кислоти за добу з 1 м³ робочого об'єму ферментера.

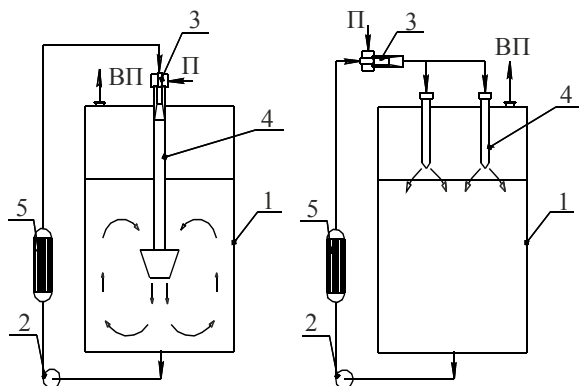


Рис. 4. Ферментери із зануреним (а) і падаючим струменем (б): 1 — корпус; 2 — насос; 3 — ежектор; 4 — дифузор; 5 — теплообмінник; ВП — вихід відпрацьованого повітря; П — повітря

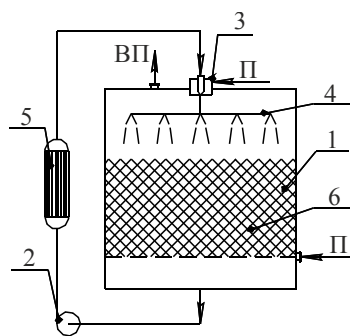


Рис. 5. Струменевий ферментер (генератор Фрінгса): 1 — корпус; 2 — циркуляційний насос; 3 — ежекційний пристрій; 4 — аераційний диспергатор культуральної рідини; 5 — теплообмінник; 6 — насадка з букової стружки; П — повітря; ВП — вихід відпрацьованого повітря

Відомі конструкції промислових струменевих ферментерів з падаючим суцільним або кільцевим струменем рідини. Суцільний струмінь утворюється при витіканні рідини з циліндричного патрубку, кільцевий при виході з кільцевого зазору, утвореного патрубком і циліндричної вставкою (рис. 6). При контакті струменя і рідини відбувається додаткове захоплення газу її поверхнею і формування аераційної (барботажної) зони.

Прикладом сучасного струменевого ферментера з безнапірними струменевими елементами, в якому вирішене питання забезпечення стабільної роботи відцентрового насоса, є ферментер (рис. 6), розроблений для очищення стічних вод, депарафінізації нафтових дистилатів і переробки сульфідних лугів [1]. Ферментер місткістю 1000 м³ оснащений відцентровим насосом спеціальної конструкції, в якому передбачене видалення газу з газорідної дисперсії. Ферментер подає КР в шахту падіння аераційного пристрою реакційної камери. Культуральна рідина в шахтовому просторі рухається вниз у вигляді кільцевого потоку. Характерною особливістю циркуляційного соплового ферментера з падаючим струменем є те, що струменевий аератор має звуження в нижній частині, завдяки чому при русі КР виникає кільцевий потік, що перетворюється у струмінь і формує зону зниженого тиску, завдяки чому сюди

поступає аераційне повітря. Газорідинна дисперсія на виході має дрібно-дисперсну консистенцію і високий рівень кінетичної енергії. Недоліком даних апаратів є втрати енергії при перекачуванні рідини, труднощі проектування у зв'язку з відсутністю надійних методик розрахунку конструкцій і режимів роботи струменевих і ежекційних пристроїв та необхідність використання спеціальних насосів для перекачування КР з газовмістом до 50%.

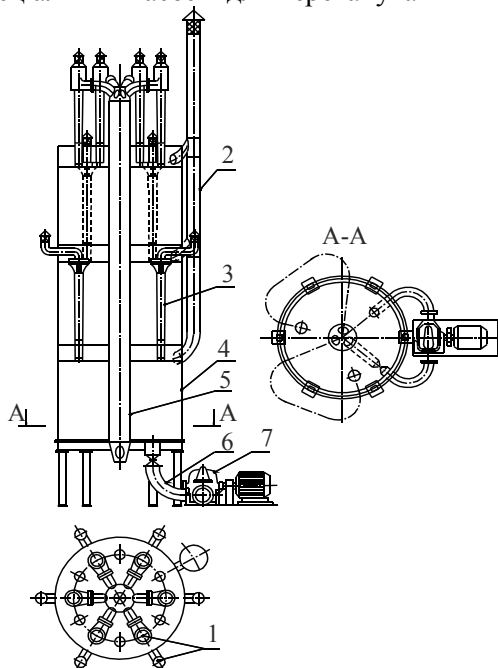


Рис. 6. Ферментер струменевого типу із шахтними перепадами місткістю 1000 м³ [4]:
1 — вхід повітря; 2 — трубовід відпрацьованого повітря; 3 — шахтний водоскид;
4 — корпус; 5 — циркуляційна труба;
6 — всмоктуючий трубовід;
7 — циркуляційний насос

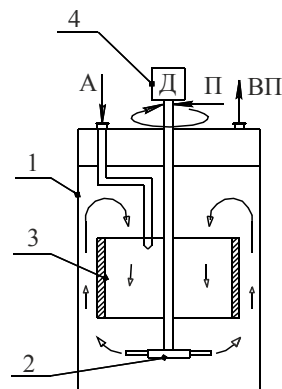


Рис. 7. Ферментер системи Вальдгофа: 1 — корпус апарата; 2 — аератор; 3 — направляючий циліндр; 4 — привід валу мішалки;
А — поживне середовище;
П — повітря; ВІ — вихід відпрацьованого повітря

Значна кількість розробок апаратів із самовсмоктуючими мішалками позиціонується в технологіях аераційної очистки стічних вод [13]. Нами розглядаються виключно конструкції і принципи роботи ферментерів для отримання мікробної маси.

Вперше ферментери без спеціалізованої системи повітропостачання були використані для культивування дріжджів на сульфитних лугах у неасептичних умовах. Прикладом такого ферментера з одновальною мішалкою (рис. 7) є апарат системи Вальдгофа місткістю 210 м³, що використовувався в Німеччині на заводі «Агфа» [4].

Повітря поступає через порожнистий вал, що обертається зі швидкістю 5,3 с⁻¹ діаметром 200 мм з розташованими на його нижньому кінці відводами з 5—6 вигнутих труб діаметром 70 мм з відкритими торцями в формі Сегнера колеса і викидається через відкриті торці загнутих труб аератора. Ці

загнуті труби кріпляться до нерухомої розподільної коробки, що кріпиться до валу. Для створення циркуляції на певній висоті від дна апарата встановлюється направляючий циліндр (дифузор).

Передбачається, що рідина, насичена повітрям, буде підніматись по перерізу кільця між циліндром і стінкою апарата, і далі буде опускатися через циліндр, потім знову близько дна апарата відкидається струменем повітря на периферію. Така циркуляція забезпечує гомогенізацію КР і знижує ступінь піноутворення. У ферментерів системи Вальдгофа наведений (гідростатичний) рівень підтримується на певній висоті (1,7—1,8 м), коефіцієнт заповнення ферментера — 22—25%. Витрати повітря становлять 50 м³/кг сухих дріжджів.

Створення конструкцій ферментерів великою одиничної потужності призвело до розробки конструкцій багатовалових секційних апаратів з самовсмоктуючими мішалками.

Ферментери з самовсмоктуючими аераційними мішалками, в яких встановлюється порожнистий вал, що обертається і на якому закріплена мішалка спеціальної конструкції, знайшли досить широке застосування в мікробіологічній промисловості. Такі апарати, що працюють за принципом системи Вальдгофа, мають саме різне конструктивне оформлення (рис. 8).

Внутрішній стакан дифузора, що обмежує зону найбільш інтенсивного перемішування, а також сприяє організації спрямованої циркуляції в апараті, застосовується в багатьох сучасних конструкціях ферментерів з механічним перемішувальними пристроями. У ферментерах як циркуляційні пристрої використовують системи направляючих дифузорів, що розділяють висхідні та низхідні потоки. Теплообмінні пристрої виконані у вигляді трубних решіток дифузорів напірній зоні самовсмоктуючої мішалки (рис. 9).

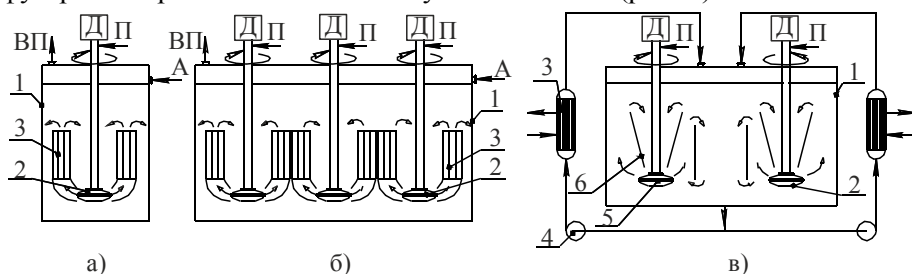


Рис. 8. Ферментери із самовсмоктуючими мішалками: а — одновальний ферментер із самовсмоктуючою мішалкою: 1 — корпус; 2 — самосмоктуюча мішалка; 3 — циркуляційний контур-теплообмінник; б — багатовальний ферментер із самоусмоктуючими мішалками; в — ферментер з самоусмоктуючими мішалками багатовальний із зовнішнім циркуляційним контуром з теплообмінником: 1 — корпус; 2 — самовсмоктуюча мішалка; 3 — виносний теплообмінник; 4 — насос; 5, 6 — дифузор; П — повітря; ВП — відпрацьоване повітря; А — вхід поживного середовища

Повітря у ферментер транспортується за рахунок розрідження, що виникає в повітряній камері мішалки, яка з однієї сторони з'єднується з атмосферою, а з іншої — з рідиною, що (відкидається) лопатками мішалки.

Особливістю конструкції таких мішалок є те, що всередині корпусу на лопатях закріплений кільцевий газорозподільник з патрубком для подачі газу (повітря). Однак те розрідження, що створює самовсмоктуюча мішалка, від-

носно невелике. Це обмежує глибину їх занурення, що розраховується за «РД 26.260.008-92 Ферментаторы для производств микробиологического синтеза. Методы расчета основных конструктивных элементов и режимов работы».

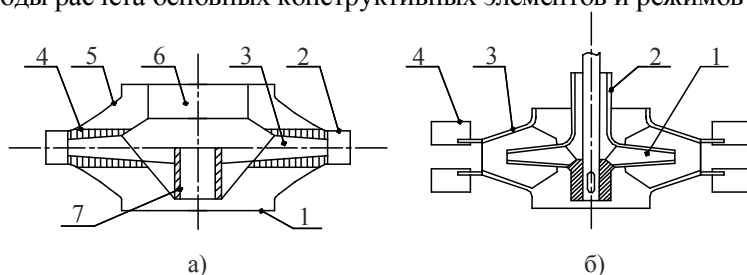


Рис. 9. Схема конструкції самовсмоктуючої мішалки: а — закрыта самовсмоктуюча мішалка: 1 — нижня тарілка; 2 — кільцеве сопло; 3 — лопать; 4 — розсікач; 5 — верхня тарілка; 6 — турбінка; 7 — втулка; б — відкрита самовсмоктуюча мішалка: 1 — повітряна камера; 2 — патрубок для подачі газу; 3 — турбінка; 4 — лопаті

Самоусмоктуючі мішалки як аераційні пристрої мають малий енергетичний ККД, проте дроблення газу, що забезпечує велику площу контакту фаз, дозволяє їх порівняти з ферментерами з підведенням енергії механічним перемішуючим пристроєм. Недоліками таких апаратів є складнощі оптимізації й управління інтенсивністю гідродинамічних і масообмінних процесів, що пов'язано з використанням принципу самовсмоктування.

Виробництво кормових дріжджів пов'язано з промисловим використанням багатовалового ферментера об'ємом 50 м^3 з п'ятьма самовсмоктуючими мішалками (рис. 10), що використовувався в цеху чистої культури посівних дріжджів.

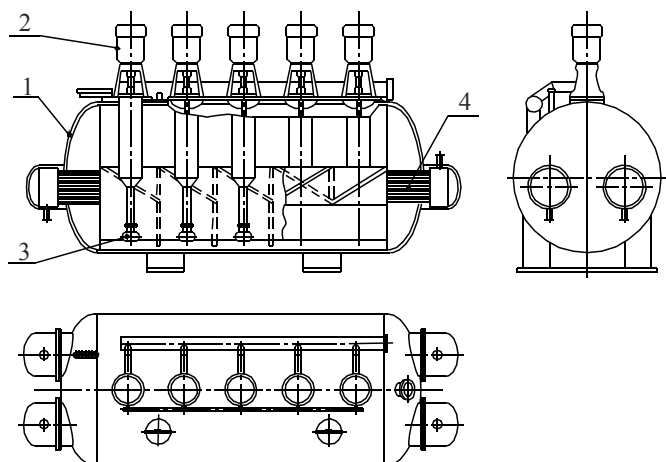


Рис. 10. Ферментер з п'ятьма самовсмоктуючими турбінними мішалками об'ємом 50 м^3 : 1 — корпус; 2 — привід; 3 — самовсмоктуюча мішалка; 4 — теплообмінник

Ферментери великих об'ємів із самовсмоктуючими мішалками в промисловому виконанні представлені у вигляді горизонтального тора, по колу якого рівномірно розміщені самовсмоктуючі турбінні мішалки. Ферментери даної конструкції використовувались у виробництві кормового білкового препарату «Дрожжи кормовые — паприн ГОСТ 28179-89. Технические условия».

На рис. 11 показана конструкція ферментера, відомого під маркою Б-50. Цей апарат був розрахований на отримання 50 т кормових дріжджів за добу з вуглеводнів нафти. Він являє собою дванадцятигранник місткістю близько 800 м³, розділеної на 12 секцій вертикальними перегородками. Культуральна рідина з біомасою дріжджів проходить послідовно всі секції і з останньої виходить з мінімальним вмістом n-парафінів і максимальною концентрацією біомаси. У кожній секції встановлена самовсмоктуюча мішалка з електродвигуном постійного току потужністю 315 кВт, дифузори для створення циркуляційних контурів і теплообмінники. При обертанні турбіни рідина на виході, володіючи великою енергією, створює розрядження у розріджену зону підсмоктується повітря з атмосфери по трубопроводу, сполученого з порожнистою частиною пристрою. У цій зоні відбувається інтенсивне перемішування і аерація культуральної рідини.

Промислові випробування не дали очікуваної продуктивності щодо біомаси дріжджів — в деяких випадках було отримано 30—35 т/добу.

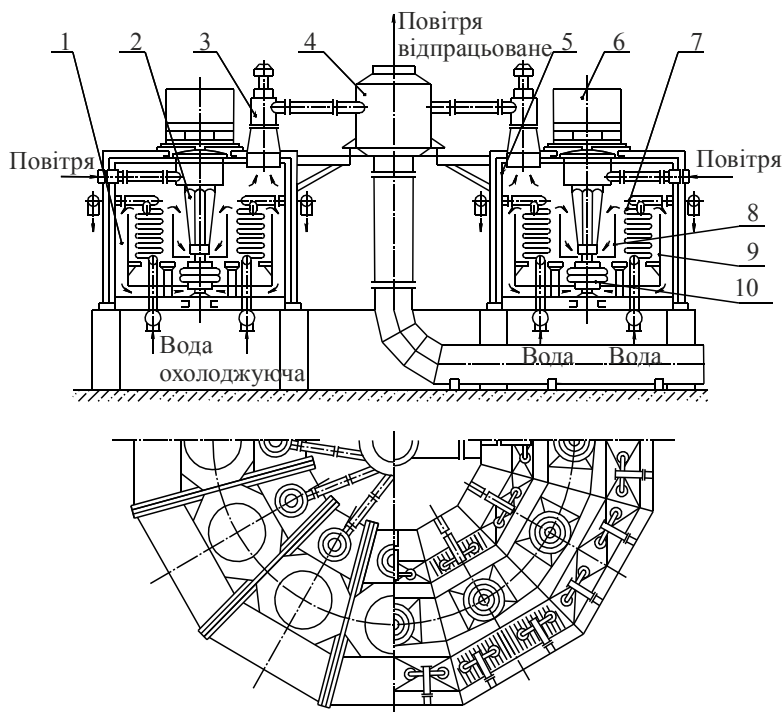


Рис. 11. Ферментер з Б-50: 1 — кільцевий канал; 2 — повітропровід; 3 — піногасник; 4 — сепаратор; 5 — циліндр; 6 — привід; 7 — теплообмінник; 8 — дифузор; 9 — циліндричний стакан; 10 — самоувсмоктуюча мішалка

Сучасну та більш досконалу конструкцію має ферментер АДР-900-76 (рис. 12). Ферментер представляє собою закритий корпус, що забезпечений пристроєм для аерації та циркуляції середовища й теплообміну. Внутрішній об'єм ферментера розділений кільцевою перегородкою на дві секції: секцію вирощування, розташовану на периферії, і секцію дозрівання, розташовану в центрі. Початок і кінець секції вирощування відокремлені один від одного

радіальною перегородкою. Напірна зона аератора, встановленого в кінці секції вирощування, за допомогою трубопроводів з'єднується з секцією дозрівання і початком секції вирощування. Причому трубопровід, що з'єднує кінець секції вирощування з її початком, підведений безпосередньо до всмоктуючої горловини аератора, встановленого на початку секції вирощування. Завдяки такій схемі з'єднання забезпечується організована примусова рециркуляція культуральної рідини з кінця секції в її початок. Пристрої для циркуляції середовища виконані у вигляді двох, розташованих один над одним по колу, напрямних U-подібного перерізу. Теплообмінники являють собою систему змійовиків, встановлених між вертикальними ділянками U-подібних напрямних. Аеруючі пристрої — самовсмоктуючі мішалки, що знаходяться в співвісних отворах між горизонтальними ділянками напрямних. 12 із 13 мішалок розміщені по периферії, в секції вирощування і одна — в центрі, в секції дозрівання.

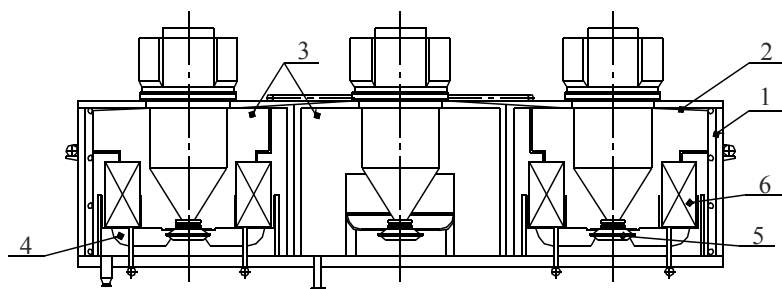


Рис. 12. Ферментер АДР-900-76: 1 — корпус; 2 — кришка; 3 — зона секцій вирощування та дозрівання; 4 — пристрій для циркуляції; 5 — самовсмоктуюча мішалка; 6 — теплообмінник

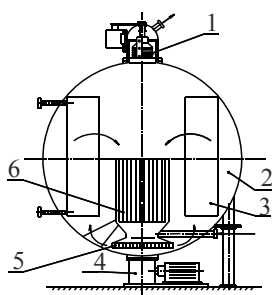


Рис. 13. Кульовий ферментер об'ємом 1000 м³: 1 — механічний піногасник; 2 — кульовий корпус апарата; 3 — теплообмінні пластини; 4 — гідравлічний привід; 5 — аераційна турбіна; 6 — центральний дифузор

Фірма РЕС-«Хемап» розробила конструкцію кульового ферментера з аераційною турбіною, що забезпечує циркуляційне перемішування ферментаційного середовища і диспергування в ній газової фази [7].

На рис. 13 представлена схема апарата об'ємом 1000 м³. Обмежувальні перегородки у вигляді пластинчастих теплообмінників розташовані радіально. Питома потужність, що витрачається на перемішування, становить приблизно 5 кВт/м³. Ферментер ефективно працює при надлишковому тиску.

Висновки

Наведені конструкції, проведений аналіз принципів роботи та визначені конструкційні особливості промислових ферментерів з підведенням енергії рідкою фазою, що дозволило створити класифікацію ферментерів для аеробного біосинтезу. Представлена у даній статті класифікація як система досліджень є суттєвим елементом систематизації й узагальнення інформації. Дані,

наведені у статті, важливі для розробки технічних завдань та обґрунтувань вибору сучасного промислового обладнання в біотехнології.

Література

1. Виестур У.Э. Системы ферментации. [Текст] / У.Э. Виестур, А.М. Кузнецов, В.В. Са-венков. — Рига : Зинатне, 1988. — 368 с.
2. Кафаров В.В. Моделирование биохимических реакторов. [Текст] / В.В. Кафаров, А.Ю. Винаров, Л.С. Гордеев. — Москва : Лесная промышленность, 1979. — 344 с.
3. Андреев А.А. Производство кормовых дрожжей. 3-е изд., перераб. и доп. [Текст] / А.А. Андреев, Л.И. Брызгалов. — Москва : Лесная промышленность, 1986. — 248 с.
4. Schuger K. Neue Bioreaktoren für aerobe Prozesse // Chem.-Ing.-Techn. — 1980. — 52, # 12, — Р. 951—965.
5. Стабников В.Н. Особенности расчета ферментаторов с виброперемешиванием / В.Н. Стабников, П.П. Лобода, В.Н. Поводзинский // Хим. и нефтян. машиностроение. — 1984. — № 5. — С. 26—28.
6. Сидоров Ю.І. Промислові ферментери // Біотехнологія». — 2012. — Т. 5, № 3. — С. 33—39.
7. Быков В.А. Расчет процессов микробиологических производств. [Текст] / В.А. Быков, А.Ю. Винаров, В.В. Шерстобитов. — Київ : Техніка, 1985. — 245 с.
8. Резенчук О.Є. Класифікація та аналіз роботи ферментерів з пневматичним перемішуванням [Текст] / О.Є. Резенчук, В.М. Поводзинський, В.Ю. Шибецький. — Наукові вісті НТУУ «КПІ». — 2011. — № 3. — С. 79—84.
9. Закоморний Д.М. Класифікація та аналіз роботи ферментерів з механічними перемішувачами пристроями в аеробних процесах біотехнології [Текст] / Д.М. Закоморний, В.М. Поводзинський, В.Ю. Шибецький // «ScienceRise». — 2015. — № 5/2 (10). — С. 24—32.
10. Соколов Е.Я. Струйные аппараты. [Текст] / Е.Я. Соколов, Н.М. Зингер — 3-е изд., перераб. — Москва : Энергоатомиздат, 1989. — 352 с., ил.
11. Мюллер Г. Микробиология пищевых продуктов растительного происхождения: учебник/ Г. Мюллер, П. Литц, Г.Д. Мюнх. — Перевод с нем. А.М. Калашниковой; Под ред. И.М. Грачевой. — Москва : Пищевая промышленность, 1977. — 300 с.
12. Воронов В.Ю. Струйная аэрация. Научное издание. [Текст] / В.Ю. Воронов, В.Д. Казаков, М.Ю. Толстой. — Москва : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2007. — 216 с.

КЛАССИФИКАЦИЯ И АНАЛИЗ РАБОТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ФЕРМЕНТЕРОВ С ПОДВОДОМ ЭНЕРГИИ ЖИДКОЙ ФАЗОЙ

А.В. Копыленко

Национальный университет пищевых технологий

М.Г. Кутовой, В.М. Поводзинский, В.Ю. Шибецкий

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

В статье предложена современная классификация промышленных ферментеров с подводом энергии жидкой фазой. Подвод энергии инициировано различными конструкциями, которыми оснащены аппараты для аэробного биосинтеза. Оценена конфигурация потоков газожидкостной дисперсии, которая определяет эффективность гомогенизации культуральной жидкости. Определены возможности применения ферментеров данного типа в биотехнологии крупнотоннажного производства микробных масс.

Ключевые слова: *биотехнология, биологический агент, ферментер, эжектор, струйная аэрация, самовсасывающая мешалка.*

УДК 663.551

INNOVATIVE TECHNOLOGY OF RECTIFICATION IN THE MODE OF CONTROLLED DELAY LOOPS AND OVERFLOW OF THE LIQUID

Y. Buliy, P. Shiyan, A. Kuts, R. Kirilenko

National University of Food Technologies

Key words:

*Controlled cycles
Rectification
Phase equilibrium
Mass transfer
Distillation column*

Article history:

Received 14.11.2016
Received in revised form
25.11.2016
Accepted 13.12.2016

Corresponding author:

Y. Buliy
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The innovative technology of rectification in the mode of controlled delay loops and overflow of the fluid by continuous supply to the distillation column and the heating steam was implemented. The effectiveness of extracting ethanol from by-products and intermediates distillation was studied. The optimal technological parameters of the experimental accelerating column in the conditions of moderate and deep hydro-selection were determined. The distribution of key organic impurities of alcohol at the height of the column, the dependence degree of extraction and the multiplicity of concentration of volatile impurities of ethyl alcohol in the bottom liquid were studied.

ІННОВАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ РЕКТИФІКАЦІЇ В РЕЖИМІ КОНТРОЛЬОВАНИХ ЦИКЛІВ ЗАТРИМКИ І ПЕРЕЛИВУ РІДИНИ

Ю.В. Булій, П.Л. Шиян, А.М. Куц, Р.Г. Кириленко

Національний університет харчових технологій

У статті запропоновано й впроваджено у виробництво інноваційну технологію ректифікації в режимі контрольованих циклів затримки і переливу рідини при безперервній подачі в ректифікаційну колону живлення й гріючої пари. Проведено дослідження ефективності технології в процесі вилучення етилового спирту з побічних продуктів і напівпродуктів брагоректифікації. Визначено оптимальні технологічні параметри роботи експериментальної розгінної колони в умовах помірної і глибокої гідроселекції. Досліджено розподілення ключових органічних домішок спирту по висоті колони, встановлено залежність ступеня вилучення і кратності концентрування легких домішок від концентрації етилового спирту в кубовій рідині.

Ключові слова: контрольовані цикли, ректифікація, фазова рівновага, масо-обмін, ректифікаційна колона.

Постановка проблеми. Одним із шляхів підвищення ефективності масообміну між рідиною і парою є подовження проміжку часу перебування рідини на тарілках ректифікаційної колони до моменту досягнення рівноважного стану фаз шляхом організації їх роздільного руху. Відомо, що найбільш ефективне розділення легких компонентів на ступенях контакту відбувається в циклічному режимі. Його використання дає змогу підвищити коефіцієнт корисної дії типових контактних пристроїв, покращити фізико-хімічні показники ректифікованого спирту, знизити собівартість обладнання, суттєво скоротити витрати гріючої пари та об'єми спиртовмісних відходів спиртового виробництва [1].

У результаті наукових досліджень, проведених в цьому напрямку, співробітниками Національного університету харчових технологій були запропоновані перші масообмінні апарати циклічної дії. Їх конструкція передбачає періодичну подачу пари та рідини на тарілку живлення. Дія апаратів дає змогу підвищити ефективність масообміну в паровий період шляхом здійснення рідинної затримки на ступенях контакту фаз. Пуск апаратів здійснюється в рідинний період, коли клапани проміжних тарілок знаходяться у положенні «Закрито». Рідина, що надходить в апарат, накопичується на тарілці як рідинна затримка і перебуває на ній визначений термін часу. В кінці рідинного періоду подачу рідини закривають і в кубову частину подають пару (паровий період). Механічний привід піднімає клапани чи переводить жалюзійні пластини в положення «Відкрито», і рідина переливається на тарілку, на якій відбувається її контакт з парою [2].

Такі масообмінні апарати не знайшли широкого практичного використання. Причиною цього була складність їх конструктивних рішень щодо реалізації технологічного процесу, відсутність масообміну в період надходження рідини на тарілку або її переливу через необхідність почергової або імпульсної подачі рідинного та парового потоків, а також залежність регулювання об'ємної швидкості переливу рідини від тиску пари.

З метою підвищення ефективності масообміну на ступенях контакту та усунення вищевказаних недоліків авторами була запропонована інноваційна технологія ректифікації в режимі контрольованих циклів затримки і переливу рідини, що відбуваються за заданим алгоритмом, без переривання потоків рідини та гріючої пари [3]. Для проведення досліджень у виробничих умовах ДП «Чуднівський спиртовий завод» була змонтована і включена в схему брагоректифікаційної установки експериментальна колона (рис. 1).

Колона діаметром 426 мм оснащена 30 ситчастими контактними пристроями з отворами діаметром 2,4 мм. Відстань між тарілками становила 300 мм. Вільний перетин тарілок дорівнював 5,5 %. Колона містить корпус 1, тарілки 5 з контактними елементами 7 та переливними трубами 3, що вставлені в стакани 6. Переливні труби 3 разом із стаканами 6 утворюють переливні пристрої. Їх конструкція запобігала прориву пари в період переливу рідини. На рухомих тягах 4 і 9 закріплені клапани 2.

Тяги приводились у рух відповідно до програми контролера завдяки дії приводних механізмів (пнеumoциліндрів типу DNT 63-50-PPV-A фірми FESTO).

Клапани 2 почергово відкривали та закривали переливні отвори парних і непарних за порядком розташування тарілок. Для щільності клапани 2 піджимались пружинами 8. Всі конструктивні елементи колони були виконані із нержавійна харчової сталі марки 12Х18Н10Т.

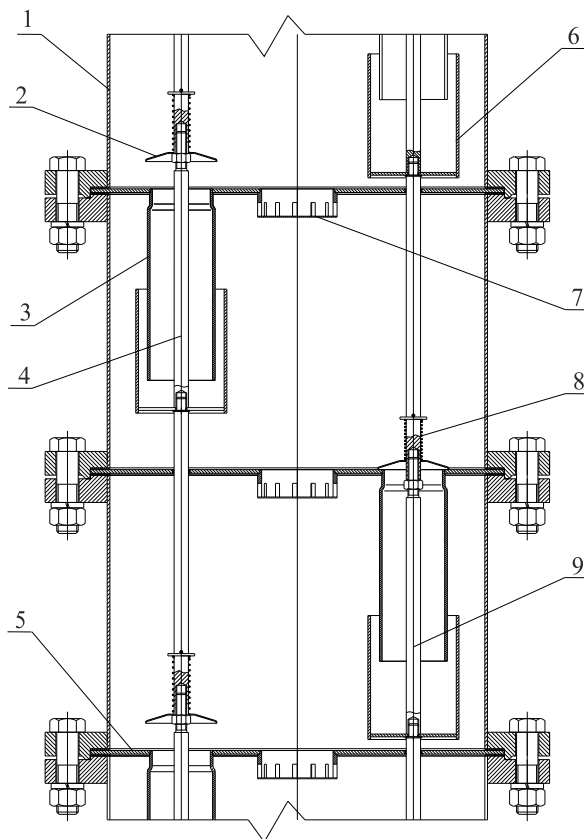


Рис. 1. Повздовжній переріз експериментальної колони з контрольованими циклами затримки і переливу рідини: 1 — корпус; 2 — клапан; 3 — переливна труба; 4, 9 — тяги; 5 — тарілка; 6 — стакан; 7 — контактний елемент; 8 — пружина

Випробовування технології здійснювали в процесі вилучення етилового спирту із фракцій, збагачених органічними домішками, що входять до складу головної фракції етилового спирту, погонів із конденсаторів бражної колони і сепаратора вуглекислого газу, спиртовловлювачів і сивушного спирту.

Відомо, що ступінь вилучення (α) і кратність концентрування (β) летких органічних домішок залежить від співвідношення рідинного і парового потоків (L/G) та концентрації етанолу по тарілках колони [4]. При сталих витратах потоків живлення та гріючої пари величина L/G і концентрація спирту по висоті колони залежать від кількості води, що надходить на гідроселекцію.

Мета статті: дослідження ефективності інноваційної технології в процесі розгонки головних, проміжних і кінцевих домішок спирту при переробці побічних продуктів і напівпродуктів брагоректифікації: дослідження розподілення легких домішок по висоті розгінної колони, визначення ступеня вилучення та кратності концентрування органічних домішок залежно від концентрації етилового спирту в кубовій водно-спиртовій рідині.

Виклад основних результатів дослідження. Для вилучення етанолу спиртовмісні фракції із проміжного збірника відцентровим насосом подавали на двадцять тарілку живлення розгінної колони (РК). Їх витрати становили 96 дм³/год в перерахунку на абсолютний алкоголь (а.а.). На верхню тарілку колони із напірного збірника самопливом надходила гаряча пом'якшена вода, в нижню її частину подавали гріючу пару. Тиск у кубовій частині колони дорівнював 30 кПа, у верхній її частині — 2...5 кПа. Перелив рідини відбувався у два послідовних етапи, які повторювались періодично у часі почергово: на першому етапі рідина переливалася з кожної непарної тарілки на кожну наступну парну за порядком розташування тарілку, на другому етапі — з кожної парної тарілки на кожну наступну непарну тарілку. Робочий цикл процесу масообміну включав час перебування рідини на парних і непарних тарілках, час переливу рідини з парних на непарні та з непарних на парні тарілки дорівнював 40 с: час затримки рідини — 13 с, час її переливу — 7 с. Концентрат естеро-сивушний (КЕС) відбирали із конденсатора РК в кількості 0,20...0,25% від а.а. бражки. Очищену від головних і частини проміжних домішок кубову рідину подавали у верхню зону бражної колони.

Для вирішення поставленого завдання розділення багатокомпонентної суміші здійснювали в умовах помірної та глибокої гідроселекції домішок. Для цього витрати пом'якшеної води змінювали від 840 до 1920 дм³/год. У першому випадку концентрація етилового спирту в кубовій рідині становила 11,5% об., у другому — 5,0% об. За сталої витрати гріючої пари величина L/G дорівнювала 7,8 і 16,9 відповідно. При більших витратах води температура в нижній частині колони зростала від 95 до 101 °С, у верхній її частині — від 84 до 90 °С.

Технологічна схема включення РК в схему брагоректифікаційної установки відповідала вимогам нормативно-технічної документації [5]. Облік погонів живлення, гідроселекційної води й утвореного КЕС здійснювали за допомогою відповідних витратомірів. Управління автоматичними клапанами та роботою пневмоциліндрів, контроль технологічних параметрів (температури, тиску) відбувався за допомогою автоматичних датчиків, сигнал від яких передавався на мікропроцесорний контролер. У ході досліджень відбирали дослідні проби погонів живлення, кубової рідини, проби з 6, 11, 16, 21, 26-ї тарілок, флегми із дефлегматора та КЕС із конденсатора колони для проведення їх хроматографічного аналізу. Кожну серію дослідів проводили в триразовій повторності. Визначальними обиралися середні величини. Результати хроматографічного аналізу дослідних проб приведені в табл. 1 і 2.

ПРОЦЕСИ І АПАРАТИ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

Таблиця 1. Розподілення летких органічних домішок спирту по висоті розгінної колони в умовах помірної гідроселекції

Домішки	Концентрація, мг/дм ³ (в перерахунку на безводний спирт)								
	Погони	Кубова рідина	Номер тарілки					Флегма	КЕС
			6	11	16	21	26		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Альдегіди</i>	186,4	0,4	0,7	1,8	3,9	12,3	15,7	2909	3033
ацетальдегід	174,4	0,4	0,7	1,8	3,9	12,3	15,7	2714	2825
акролеїн	9,2	-	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	186,8	194
кротональдегід	2,8	-	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	8,3	13,7
<i>Естери</i>	449,3	0,7	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	5951	6543
етилацетат	347,9	0,7	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	4236	4733
метилацетат	16,9	-	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	194,3	209,2
ізоамілацетат	81,4	-	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	1403	1479
ізобутилацетат	3,1	-	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	106,9	122,1
<i>Сивушине масло</i>	24452	2799	2264	4840	6779	10727	11204	292965	290376
ізопропанол	2,0	0,08	0,2	1,4	1,9	4,7	9,3	21,1	24,9
н-пропанол	7080,8	2704	1425	3813	4342	3292	2537	19826	20961
ізобутанол	6975,1	31,1	118,9	294	816,6	1693	411,2	104021	99634
н-бутанол	36,1	5,7	8,1	19,8	21,4	23,7	26,9	337,2	303,2
ізоамілол	10355	57,2	240,2	711,7	1597	5713	8219	168736	162650
н-пентанол	3,2	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	22,8	17,3
<i>Метанол, %об.</i>	0,026	0,001	0,024	0,102	0,135	0,173	0,190	2,7	2,4
<i>Етанол, % об.</i>	81,0	11,5	18,3	18,7	18,9	15,2	13,1	68,7	75,1

Таблиця 2. Розподілення летких органічних домішок спирту по висоті розгінної колони в умовах глибокої гідроселекції

Домішки	Концентрація, мг/дм ³ (в перерахунку на безводний спирт)								
	Погони	Кубова рідина	Номер тарілки					Флегма	КЕС
			6	11	16	21	26		
<i>Альдегіди</i>	186,4	-	2,1	2,5	3,0	10,2	16,7	3308	3407
ацетальдегід	174,4	-	2,1	2,5	3,0	10,2	16,7	3080	3175
акролеїн	9,2	-	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	215,9	220,9
кротональдегід	2,8	-	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	11,1	16.2
<i>Естери</i>	449,3	-	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	6769	7372
етилацетат	347,9	-	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	4848	5344
метилацетат	16,9	-	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	225,3	237,1
ізоамілацетат	81,4	-	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	1573	1653
ізобутилацетат	3,1	-	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	122,9	137,2
<i>Сивушине масло</i>	24452	1264	2594	5959	7201	11267	15569	366409	346623
ізопропанол	2,0	-	сліди	1,1	1,0	сліди	сліди	26,5	31,2
н-пропанол	7080,8	1182	2215	4894	4641	3542	2741	24824	26601
ізобутанол	6975,1	25,5	123,5	306,3	862,7	1757	4268	130079	123055
н-бутанол	36,1	5,3	8,6	23,4	23,9	25,3	28,7	422,4	379,9
ізоамілол	10355	51,6	247	732	1672	5942	8532	211033	196534
н-пентанол	3,2	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	сліди	23,8	21,8
<i>Метанол, %об.</i>	0,026	0,001	0,012	0,078	0,104	0,134	0,168	2,5	2,2
<i>Етанол, % об.</i>	81,0	5.0	14,0	14,0	14,0	11,2	7,0	65,0	68,0

Аналіз отриманих результатів показав, що максимальне вилучення альдегідів та естерів відбувається в умовах глибокої гідроселекції домішок. Незалежно від обраних режимів процесу розгонки завдяки подовженню часу контакту фаз на тарілках колони в повній мірі вилучаються акролеїн, кротоновий альдегід, метилацетат, ізоамілацетат, ізобутилацетат і н-пентанол-домішки, які в невеликих концентраціях значно погіршують якісні показники ректифікованого спирту. В умовах помірної гідроселекції в меншій мірі видаляються ацетальдегід, етилацетат, ізопропанол, н-пропанол, ізобутанол, н-бутанол та ізоаміловий спирт, але зростає інтенсивність вилучення метилового спирту. Проведення глибокої гідроселекції надає можливість понизити в кубовій рідині концентрацію вищих спиртів сивушного масла на 54,8%, н-пропанолу — на 56,3%, ізобутанолу — на 18%, н-бутанолу — на 7% та ізоамілового спирту — на 9,8%.

Незалежно від концентрації етанолу по висоті РК головні домішки в більшій мірі концентрувалися в конденсаторі. Вміст альдегідів у КЕС перевищував їх вміст у флегмі на 3,5%, естерів — на 9,1%. Вищі спирти сивушного масла і метиловий спирт, навпаки, більше концентрувалися в дефлегматорі колони. В умовах помірної гідроселекції концентрація спиртів сивушного масла у флегмі була вищою, ніж у КЕС на 3,2%, при використанні глибокої гідроселекції — на 5,4%. При вищевказаних витратах води на гідроселекцію концентрація метилового спирту у флегмі перевищувала його концентрацію в КЕС на 12%.

За критерій оптимізації процесу розгонки приймали ступінь вилучення та кратність концентрування ключових органічних домішок спирту. Ступінь вилучення визначали за відношенням концентрації домішки у живленні до її концентрації в кубовій рідині, кратність концентрування — за відношенням концентрації домішки у КЕС до її концентрації у живленні. Їх розрахункові значення приведені в табл. 3.

Таблиця 3. Ступінь вилучення (α) і кратність концентрування (β) летких домішок спирту залежно від режиму гідроселекції

Групи домішок (назва домішки)	Ступінь вилучення (α)		Кратність концентрування (β)	
	Режим гідроселекції			
	помірна	глибока	помірна	глибока
1	2	3	4	5
<i>Альдегіди</i>	466,0	∞	16,3	18,3
ацетальдегід	436,0	∞	16,2	18,2
акролеїн	∞	∞	21,6	24,0
кротоновий альдегід	∞	∞	4,9	5,8
<i>Естери</i>	642,0	∞	14,6	16,4
етилацетат	497,0	∞	13,6	15,4
метилацетат	∞	∞	12,4	14,0
ізоамілацетат	∞	∞	18,5	20,3
ізобутилацетат	∞	∞	39,4	44,3
<i>Сивушне масло</i>	17,5	19,3	11,6	14,2
ізопропанол	25,0	∞	12,5	15,6
н-пропанол	5,4	6,0	3,0	3,8

Продовження табл. 3.

1	2	3	4	5
ізобутанол	224,5	273,5	14,3	17,6
н-бутанол	6,3	6,8	9,3	10,5
ізоаміловий спирт	181,0	200,7	15,7	19,0
н-пентанол	∞	∞	5,4	6,8
Метанол, % об.	26,0	26,0	92,3	84,6
Етанол, % об.	7,0	16,2	0,9	0,9

Аналіз даних, наведених у табл. 3, показав, що зниження концентрації етанолу в кубовій рідині від 11,5 до 5% об. дає змогу досягти ефективного ступеня вилучення головних домішок, підвищити їх кратність концентрування на 12%, інтенсифікувати видалення вищих спиртів сивушного масла на 10,3%, збільшити кратність їх концентрування на 22,4% та понизити концентрацію етилового спирту в КЕС на 9,5%. При цьому ступінь вилучення метилового спирту не змінюється, а кратність його концентрування зменшується на 8,3%. Найменший ступінь вилучення мав н-пропанол, найнижчу кратність концентрування — н-пропанол і кротоновий альдегід.

Практично доведено, що використання інноваційної технології дає змогу зменшити кількість спиртовмісних відходів на 3,7...3,9%. При цьому показники ректифікованого етилового спирту відповідають нормативним для сорту «Люкс», а показники утвореного КЕС — вимогам технічних умов [6; 7].

Після проведення досліджень запропонована авторами технологія ректифікації була впроваджена у виробництво на ДП «Чуднівський спиртовий завод» і завдяки високій ефективності використовується по теперішній час.

Висновки

Результати експериментальних досліджень довели доцільність використання інноваційної технології ректифікації в режимі контрольованих циклів затримки і переливу рідини в процесі розгонки спиртовмісних фракцій. Зниження концентрації етилового спирту в кубовій рідині від 11,5 до 5% об. дає змогу досягти ефективного ступеня вилучення головних домішок, підвищити їх кратність концентрування на 12%, інтенсифікувати видалення вищих спиртів сивушного масла на 10,3%, збільшити кратність їх концентрування на 22,4% та скоротити кількість відходів виробництва на 3,7...3,9% при стабільно високій якості ректифікованого етилового спирту.

Перспективним напрямком є проведення подальших досліджень можливості підвищення кратності концентрування легких домішок спирту шляхом їх диференційованого відбору із дефлегматора і конденсатора розгінної колони та установки декантатора.

Література

1. Kiss A.A., Bildea C.S. A control perspective on process intensification in dividing-wall columns, Chemical Engineering and Processing : Process Intensification. — 2011, №50. — P. 281—292.
2. Патент України 60565 А. Спосіб перетікання рідини на тарілках колонних масообмінних апаратів / В.М. Малета, І.В. Щуцький, А.П. Дмитрук, Й.Б. Черняхівський. — Заявлено 10.12.02 ; Опубл. 15.10.03, Бюл. № 10.

3. Патент України 89874 С2. Спосіб переливу рідини по тарілках колонного апарата у процесі масообміну між парою та рідиною / А.П. Дмитрук, Й.Б. Черняхівський, П.А. Дмитрук, Ю.В. Булій. — Заявлено 06.06.08 ; Опубл. 10.03.10, Бюл. № 5.

4. Шиян П.Л. Інноваційні технології спиртової промисловості. Теорія і практика: Монографія. / П.Л. Шиян, В.В. Сосницький, С.Т. Олійнічук. — Київ : Видавничий дім «Асканія», 2009. — 424 с.

5. Технологічний регламент переробки головних і сивушних фракцій в процесі брагоректифікації (ТР 30219014-005-2005). — Київ : 2005. — 123 с.

6. ДСТУ 4221:2003. Спирт етиловий ректифікований. Технічні умови. — Введ. 14-10-2003. — Київ : Держспоживстандарт України, 2004. — 3 с.

7. Технічні умови України. Концентрат естери-сивушні ТУ У 24.6-30219014-004 : 2005. — 17 с.

ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ РЕКТИФИКАЦИИ В РЕЖИМЕ КОНТРОЛИРОВАННЫХ ЦИКЛОВ ЗАДЕРЖКИ И ПЕРЕЛИВА ЖИДКОСТИ

Ю.В. Булій, П.Л. Шиян, А.М. Куц, Р.Г. Кириленко

Национальный университет пищевых технологий

В статье предложена внедренная в производство инновационная технология ректификации в режиме контролируемых циклов задержки и перелива жидкости при непрерывной подаче в ректификационную колонну питания и греющего пара. Проведены исследования эффективности технологии в процессе извлечения этилового спирта из побочных продуктов и полупродуктов брагоректификации. Определены оптимальные технологические параметры работы экспериментальной разгонной колонны в условиях умеренной и глубокой гидроселекции. Исследовано распределение ключевых органических примесей спирта по высоте колонны, установлена зависимость степени извлечения и кратности концентрирования летучих примесей от концентрации этилового спирта в кубовой жидкости.

Ключевые слова: *контролируемые циклы, ректификация, фазовое равновесие, массообмен, ректификационная колонна.*

INERT SUPPORT FOR DRYING FOODSTUFF ON ITS SURFACE IN THE VIBRATING FLUID BED

R. Yakobchuk, V. Yaroviy

National University of Food Technologies

Key words:

*Inert support
Fluoroplastic
Drying
Vibrating fluid bed
Aluminum*

Article history:

Received 13.11.2016
Received in revised form
01.12.2016
Accepted 24.12.2016

Corresponding author:

R. Yakobchuk
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

This article considers the prospect of using a vibrating fluid bed of inert bodies consisting of the mix of particles having various adhesion, physic-mechanical properties, heat conductivity and thermal capacity of fluoroplastic and aluminum, for fluid materials drying. Taking into account the adhesion properties, the expediency of using the inert support of fluoroplastic in the form of a cube with the sides of 4...5 mm, and of aluminum having the spherical shape with a diameter of 4.6...4.7 mm is presented in this paper. At that, the proportion of the inert particles of fluoroplastic and aluminum in a vibrating fluid bed is 1:(1.40... 1.42).

ІНЕРТНИЙ НОСІЙ ДЛЯ СУШІННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ НА ЙОГО ПОВЕРХНІ У ВІБРОКИПЛЯЧОМУ ШАРІ

Р.Л. Якобчук, В.Л. Яровий

Національний університет харчових технологій

У статті розглянуто перспективу застосування для сушіння рідких матеріалів віброкиплячого шару інертних тіл, який складається із суміші частинок, що мають різні адгезійні, фізико-механічні властивості, теплопровідність і теплоємність фторопласту та алюмінію. З урахуванням адгезійних властивостей доведено доцільність використання інертних тіл з фторопласту у формі куба зі стороною 4...5 мм, а алюмінію — сферичної форми з діаметром 4,6...4,7 мм. При цьому співвідношення кількості інертних тіл з фторопласту та алюмінію у віброкиплячому шарі становить 1:(1,40...1,42).

Ключові слова: інертний носій, фторопласт, сушіння, віброкиплячий шар, алюміній.

Постановка проблеми. Виробництво дрібнодисперсних сухих продуктів, таких як натуральні барвники, продукти харчування, корми, добрива, лікар-

ські препарати тощо з мінімальними витратами енергетичних ресурсів є одним із важливих завдань у харчовій промисловості.

Перспективним напрямом сушіння рідких і пастоподібних харчових продуктів є сушіння їх на поверхні інертних частинок у киплячому або віброкиплячому шарі. При цьому важливим питанням є обґрунтування вибору розмірів, форми та матеріалу інертних тіл.

Одним із шляхів інтенсифікації процесу сушіння є застосування бінарного шару інертних частинок, що складається із суміші частинок, які виготовляються з різних матеріалів, наприклад, фторопластових та алюмінієвих частинок.

Унаслідок різних теплофізичних та адгезійних властивостей алюмінієвих і фторопластових частинок, відповідного співвідношення їх в об'ємі сушильної камери можна забезпечити покращення енергетичних показників сушарки, стабілізацію температурного режиму в сушильній камері, а також більш рівномірне відшарування висушеного матеріалу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз науково-технічної інформації щодо реалізації способів сушіння для отримання дрібнодисперсних сипких харчових продуктів показав, що перспективним є спосіб сушіння в киплячому або віброкиплячому шарі інертних частинок шляхом розпилення рідкого продукту на його поверхню, що істотно перевершує сушіння розпиленням як по вихідній концентрації дисперсій, так і за напругою по випареній волозі [1; 2; 3; 4; 6; 7].

При сушінні суспензій і розчинів у сушарках з віброкиплячим шаром інертних частинок розміри апаратів скорочуються на 1...2 порядки порівняно з розпилювальними сушарками [4].

При розробці ефективного способу висушування рідких продуктів на поверхні інертних частинок (тіл) у киплячому або віброкиплячому шарі важливим завданням є вибір матеріалу інертних тіл, їх форми та геометричних розмірів.

Перспективними є дослідження процесу сушіння харчових продуктів на поверхні інертних тіл, які мають форму кубиків чи куль зі скла, сталі, фторопласту, алюмінію і композитів з них. Важливим фактором при цьому є розмір цих тіл. Так, П.Г. Романков зазначає, що при збільшенні розмірів інертних тіл до 6...12 мм продукт, що висушується, складається в основному з частинок розміром близько 300 мкм і має вигляд «лусочок» або крупинок. При цьому значно підвищується продуктивність сушарки, але збільшується швидкість теплоносія, що потребує додаткових енерговитрат [4].

Інші автори вказують на доцільність та ефективність сушіння рідких і кристалоутворюючих розчинів у псевдозрідженому шарі бінарних інертних тіл, що складаються із суміші фторопластових та алюмінієвих частинок [1; 2].

В.Є. Куцакова [2] наводить результати дослідження сушіння в киплячому шарі на поверхні інертних тіл з металу і скла. Однак ці матеріали мають кут змочування $\alpha < 90^\circ$, тому при їх використанні в сушильних установках необхідно збільшувати напір і швидкість теплоносія для створення киплячого шару, що, у свою чергу, призводить до збільшення енерговитрат.

Сушіння рідких і пастоподібних матеріалів цим способом супроводжується здрибнюванням висушеного продукту й винесенням його з повітряним потоком із сушарки. Середній час перебування часток продукту у шарі визначається швидкістю випаровування вологи з поверхні, кінетикою стирання висушеного матеріалу й обчислюється хвилинами. Матеріал не перегрівається, тому спосіб може бути застосований для сушіння термочутливих продуктів. Зіткнення інертних тіл спричиняє безперервне руйнування сухої плівки матеріалу, що утворюється, на поверхні інертного тіла; процес сушіння відбувається в основному в першому періоді.

Проте недостатньою є інформація щодо впливу розмірів, форми та матеріалу інертних частинок (тіл) на тепло- та масообмін при сушінні харчових продуктів.

Метою статті є обґрунтування вибору розмірів, форми та матеріалу інертних тіл для сушіння на їх поверхні рідких і пастоподібних харчових продуктів.

Матеріали і методи. Для вирішення поставленої мети було використано фторопласт кубічної форми з розмірами сторін 3, 4, 6 мм. Дослідження зміни температурних параметрів частинок фторопласту проводили на експериментальній установці ВЛВ-100, що складається з теплоізовованого корпусу, вагового пристрою з тарілкою для розміщення матеріалу, джерела тепла, відбивної перегородки, контактного термометра, зразків матеріалу, пристрою для вимірювання температури (ПД-регулятор з інтерфейсом RS-485 ОВЕН ТРМ101-КР) з термопарами.

У кубіку фторопласту до його середини просвердлювали глухий отвір діаметром 0,5 мм. На поверхню і в отвір куба поміщали термopари, що під'єднані до вимірювача температури. Спочатку вмикали експериментальну установку для прогрівання її до заданої температури (85, 95 °С), а потім поміщали в неї кубіки фторопласту з термопарами. Замір температури проводили протягом 25 хв, фіксуючи її за допомогою ПД-регулятора з інтерфейсом RS-485 ОВЕН ТРМ101-КР.

Виклад основних результатів дослідження. Існує велика кількість патентів на інертний носій з покращеними властивостями. Так, запропоновані різні способи застосування термо- і біметалевих елементів у вигляді пластинок, лінз та інших конструкцій [1; 4]. Потрапляючи поперемінно в зону газорозподільної решітки і в об'єм з різними температурами, такі елементи деформуються, і продукт відшаровується. Проте ці носії дуже складні, дорогі і недовговічні.

Аналіз пропозицій щодо виготовлення інертних носіїв нашої хує на думку про використання для їх виготовлення різнорідних матеріалів, але з простою формою частинок. Йдеться про використання суміші частинок, які близькі за густиною і розмірами, але суттєво відрізняються адгезійними, теплофізичними, фізико-механічними і електрофізичними властивостями. Аналіз можливих матеріалів підтвердив, що найбільш ефективною є комбінація частинок із фторопласту та алюмінію [1].

Порівняння властивостей алюмінію та фторопласту показує, що теплопровідність і температуропровідність алюмінію майже на три порядки вища, ніж у фторопласту, тому швидкість сушіння в шарі нагрітих фторопластових

та алюмінієвих частинок буде вищою, ніж у шарі тільки фторопластових. Густина алюмінію та фторопласту достатньо близька, що дає змогу за певних умов уникнути явища сегрегації у віброкиплячому шарі.

Унаслідок дуже великої різниці твердості, коефіцієнтів температурного розширення, теплофізичних властивостей, змочуваності й адгезії для алюмінію та фторопластових частинок можна очікувати більш рівномірного відшарування висушеного матеріалу.

Для вибору матеріалу та розмірів інертних тіл були проведені дослідження нагрівання фторопласту кубічної форми розміром 3, 4 і 6 мм з визначення зміни температури інертного тіла по об'єму. Зміни температури частинки фторопласту за температури теплоносія 85 і 95 °C представлені на рис. 1...3. Такі температури були обрані з урахуванням вимоги до промислових сушарок, в яких температура продукту не повинна перевищувати 70...90 °C.

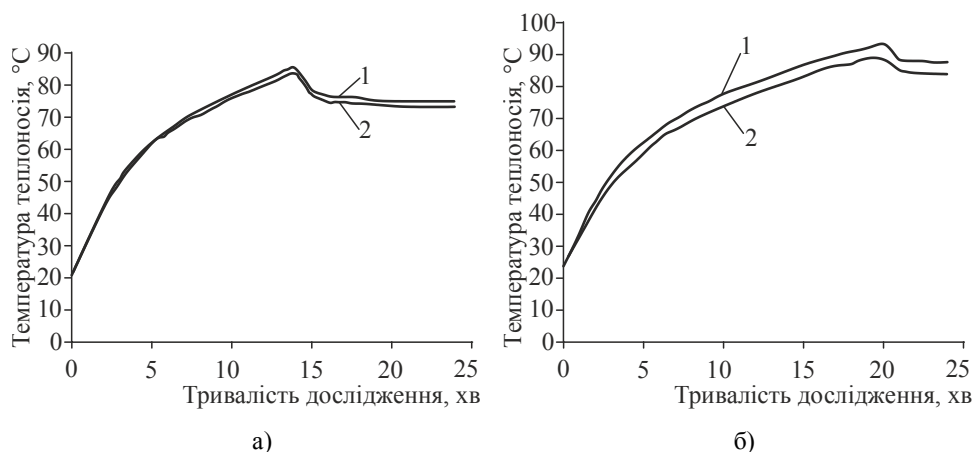


Рис. 1. Зміна температури кубика фторопласту на поверхні — 1 та в його середині — 2 при розмірі сторін 3 мм за температури: а) — 85 °C, б) — 95 °C

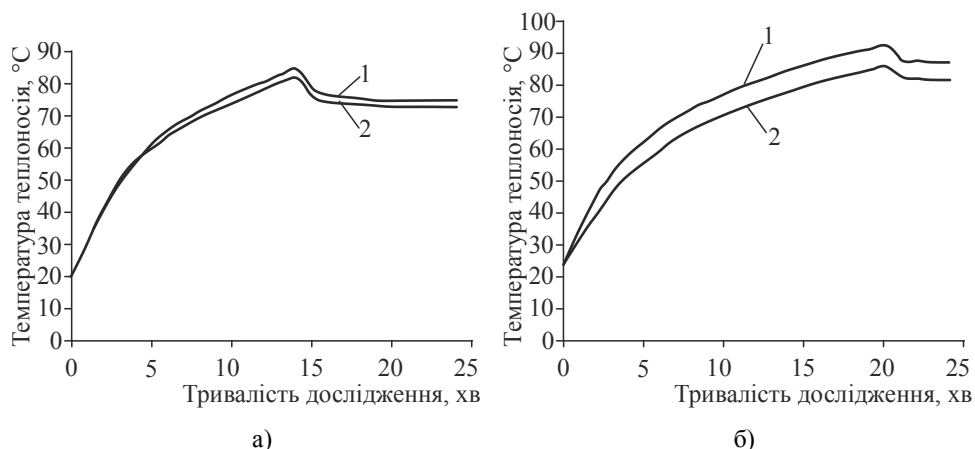


Рис. 2. Зміна температури кубика фторопласту на поверхні — 1 та в його середині — 2 при розмірі сторін 4 мм за температури: а) — 85 °C, б) — 95 °C

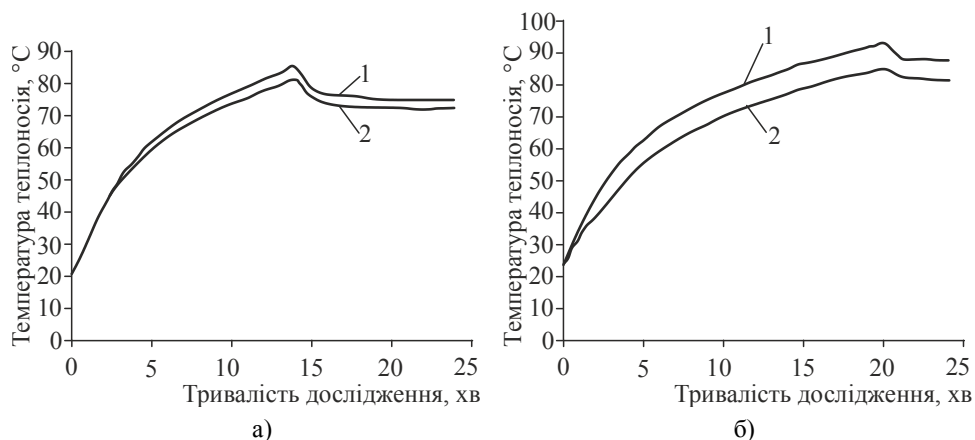


Рис. 3. Зміна температури кубика фторопласту на поверхні — 1 та в його середині — 2 при розмірі сторін 6 мм за температури: а) — 85 °С, б) — 95 °С

З аналізу отриманих кривих нагріву (рис. 1...3) видно, що температура кубика фторопласту всередині і на його поверхні різна. Ця різниця обумовлена теплофізичними характеристиками, що описано вище, а також залежить від його розмірів і температури теплоносія.

При розмірі кубика 3 мм різниця між внутрішньою температурою й температурою його поверхню мінімальна і має значення 2...3 °С, при 6 мм — 4...6 °С, при 4 мм — 3...5 °С. З розміром сторін 3 мм кубик фторопласту буде швидко нагріватися і швидко охолоджуватися при нанесенні на його поверхню продукту, порівняно з кубиком із стороною 6 мм він повільніше нагрівається і, відповідно, повільніше охолоджується. Проте при стороні 6 мм необхідні більші швидкості і температури теплоносія, тривалість прогрівання сушильної камери при цьому зростає, тому доцільно використовувати кубики фторопласту зі стороною 4 мм, що є найбільш оптимальними.

Доцільність використання як інертних частинок кубиків фторопласту підтверджується адгезійними властивостями самого матеріалу, кут змочування якого лежить в межах $90^\circ < \alpha < 180^\circ$ [5].

Аналіз результатів досліджень показав, що доцільно використовувати інертні частинки кубічної форми з фторопласту зі стороною 4...5 мм, що є найбільш оптимальними.

В [1] доведена доцільність і ефективність використання сушіння в киплячому шарі на бінарних інертних частинках із суміші фторопластових і алюмінієвих частинок при сушінні дисперсій і кристалоутворюючих розчинів.

Враховуючи аеродинамічні властивості віброкиплячого шару інертного матеріалу, характер циркуляції його в об'ємі сушильної камери, особливості тепломасообміну та сколювання плівки сухого продукту з поверхні інертних тіл, доцільно ввести у віброкиплячий шар інертні частинки сферичної форми, які виготовлені з алюмінію. При цьому маса алюмінієвої частинки повинна відповідати масі фторопластової, яка має кубічну форму. Так, для частинки кубічної форми зі стороною 4 мм алюмінієва частинка повинна бути діаметром 4,6...4,7 мм. З урахуванням сталої площі тепломасообміну кількість інертних частинок із фторопласту та алюмінію порівняно з віброкипля-

чим шаром інертних частинок з фторопласту повинна бути у співвідношенні 1:(1,40...1,42).

Висновок

На підставі виконаних досліджень та аналізу досліджень інших авторів щодо сушіння рідких продуктів у киплячому та віброкиплячому шарі інертних частинок встановлено доцільність використання суміші інертних частинок з фторопласту у вигляді куба із стороною 4...5 мм та алюмінію сферичної форми з діаметром 4,6...4,7 мм при співвідношенні їх кількості 1:(1,40...1,42).

Література

1. Коновалов В.И. Кинетика сушки дисперсий на бинарном инертном носителе / В.И. Коновалов, Н.Ц. Гагاپова, А.Н. Шикун, А.Н. Утробин // Избр. докл. V Минского междунар. форума по тепломассообмену. — Минск : ИТМО, 2004. — С. 7 — 11.
2. Куцакова В.Е. Интенсификация тепло- и массообмена при сушке пищевых продуктов / В.Е. Куцакова, А.Н. Богатырев. — Москва : Агропромиздат, 1987. — 236 с.
3. Муштаев В.И. Сушка дисперсных материалов / В.И. Муштаев, В.М. Ульянов. — Москва : Химия, 1988. — 352 с.
4. Романков П.Г. Сушка во взвешенном состоянии / П.Г. Романков, Н.Б. Рашковская. — Москва : Химия, 1968. — 360 с.
5. Якобчук Р.Л. Дослідження кута змочування та поверхневого натягу дріжджів пивних / Р.Л. Якобчук, І.В. Житнецький, В.Л. Яровой // Харчова промисловість. — 2008. — № 6. — С. 15—17.
6. Benali M. (2012), Drying of yellow pea starch on inert carriers: Drying kinetics, moisture diffusivity, and product quality. Journal of Food Engineering 110(3), pp. 337—344, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.01.003>.
7. Hatamipour M.S., Mowla D. (2006), Drying behaviour of maize and green peas immersed in fluidized bed of inert energy carrier particles. Food and Bioprocess Processing 84(3), pp. 220—226, <http://dx.doi.org/10.1205/fbp.05002>.

ИНЕРТНЫЙ НОСИТЕЛЬ ДЛЯ СУШКИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ НА ЕГО ПОВЕРХНОСТИ В ВИБРОКИПЯЩЕМ СЛОЕ

Р.Л. Якобчук, В.Л. Яровой

Национальный университет пищевых технологий

В статье рассмотрена перспектива применения виброкипящего слоя инертных тел, состоящего из смеси частиц, имеющих различные адгезионные, физико-механические свойства, теплопроводность и теплоемкость фторопласта и алюминия, для сушки жидких материалов. С учетом адгезионных свойств доказана целесообразность использования инертных тел из фторопласта в форме куба со стороной 4...5 мм, а также из алюминия — сферической формы и имеющих диаметр 4,6...4,7 мм. При этом соотношение количества инертных частиц из фторопласта и алюминия в виброкипящем слое составляет 1:(1,40...1,42).

Ключевые слова: инертный носитель, фторопласт, сушка, виброкипящий слой, алюминий.

FREQUENCY CHARACTERISTICS DUE TO NONIDENTICAL R- AND C-ELEMENTS OF HIGH-VOLTAGE DIVIDER FOR MEASURING POWER QUALITY

V. Brzhezitskyi, O. Desyatov, I. Maslyuchenko, I. Yatsenko

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Key words:

*High-voltage divider
Non-identity elements
Quality of electricity
Phase-frequency
characteristics
Amplitude-frequency
characteristics*

Article history:

Received 14.11.2016

Received in revised form
29.11.2016

Accepted 13.12.2016

Corresponding author:

V. Brzhezitskyi

E-mail:

brzhezitsky@mail.ru

ABSTRACT

This paper investigates the impact of non-identical elements of high-voltage shoulder of a mixed voltage divider on its frequency characteristics. The analytical expressions for studying the effects of non-identical elements of the high voltage divider are presented, which can be applied in the design of the dividers and the measurement of indicators of electric energy quality at high voltage. It is shown that based on the need to ensure a certain level of stability characteristics of the high voltage divider the variation of the capacitors of its high-voltage shoulder should not exceed $\pm 10\%$, while the variation of resistive elements up to $\pm 1\%$ can be neglected. The received results can be applied for creating stationary and mobile laboratories for examining the quality of electric energy in high-voltage networks.

ЧАСТОТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОБУМОВЛЕНІ НЕІДЕНТИЧНІСТЮ R-, C-ЕЛЕМЕНТІВ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ПОДІЛЬНИКА НАПРУГИ, ПРИЗНАЧЕНОГО ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

В.О. Бржезицький, О.М. Десятов, І.М. Маслюченко, І.С. Яценко

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського»

У статті розглянуто вплив неідентичності R-, C-елементів високовольтного плеча змішаного подільника напруги на його частотні характеристики. Одержані аналітичні вирази для дослідження впливу неідентичності елементів високовольтного подільника напруги, які можуть бути застосовані при проектуванні подільників і при вимірюванні показників якості електричної енергії на високій напрузі. Показано, що виходячи з необхідності забезпечення певного рівня стабільності характеристик високовольтного подільника напруги, розкид ємностей конденсаторів його високовольтного

плеча не повинен перевищувати $\pm 10\%$, в той час як розкидом резистивних елементів до $\pm 1\%$ можна нехтувати. Отримані в статті результати рекомендується використовувати при створенні стаціонарних і мобільних лабораторій визначення якості електричної енергії у високовольтних мережах.

Ключові слова: високовольтний подільник напруги, неідентичність елементів, якість електроенергії, фазочастотна характеристика, амплітудно-частотна характеристика.

Постановка проблеми. Розвиток науки та техніки в багатьох країнах світу призвів до створення нових високовольтних електротехнічних та електро-технологічних установок. При цьому застосування високих напруг значно розширює можливості й умови перетворення, транспортування і використання енергії постійного і змінного струму. Потреби зростання повноцінності інформації про стан електротехнічних об'єктів та їх характеристики викликають необхідність розвитку методів і засобів вимірювань високої напруги для сталих і перехідних режимів. Сучасна вимірювальна техніка надає можливість експериментального визначення умовно названих «низьких» напруг промислової частоти ($\sim 10 \dots 100$ В) до рівня невизначеності вимірювань $\sim 0,05\%$ [1]. Але виникає питання допустимої невизначеності вимірювань високої напруги, зокрема, для контролю якості електроенергії [2—4] та інших цілей.

Як в Україні, так і в ряді інших країн досягнуті певні результати в питанні визначення якості електроенергії на високій напрузі. Дане питання з'явилося одночасно з появою електрообладнання, чутливого до неякісного електроживлення. Питання нормування якості електроенергії при високій напрузі регулює міждержавний стандарт ГОСТ 13109 [2], що не тільки затверджує відповідні нормативи показників якості електроенергії, а й визначає методи визначення цих показників. Особливістю цього стандарту є визначення показників якості електроенергії у високовольтних електромережах до 330 кВ, оскільки частина потужних підприємств має власні високовольтні підстанції, які живлять енергетичні комплекси цих підприємств та забезпечують безперебійну роботу технологічних ліній виробництва.

В останні роки країни Євросоюзу та інші держави переходять на нові стандарти якості електроенергії [3; 4]. Ці стандарти мають більш жорсткі вимоги до показників якості електроенергії, ніж ГОСТ 13109, проте не мають вимог щодо масштабних перетворювачів високої напруги (МПВН), здатних з певною точністю перетворювати високу напругу в напругу, що подається на вхід електронних приладів контролю показників якості електроенергії. Зважаючи на це, допустима невизначеність МПВН при вимірюванні гармонік високої напруги за [2] може бути оцінена значенням $\geq 2,5\%$. Тоді допустиму нестабільність амплітудно-частотних характеристик змішаних ємнісно-омічних подільників напруги [5] для типових ширококутових МПВН можна оцінювати як додаткову складову похибки високовольтного подільника напруги (за матеріалами міждержавного стандарту ГОСТ 8.009 [6])

значенням 0,1 від вищезазначеної величини, тобто $\geq 0,25\%$. Необхідно та можливо зменшувати рівень допустимої нестабільності частотних характеристик ємнісно-омічних високовольтних подільників напруги внаслідок впливу неідентичності їх складових R-, C- елементів [5]. Слід відмітити, що при створенні високовольтних подільників напруги еталонного типу [7] вимоги до нестабільності їх амплітудно-частотних характеристик, порівняно до зазначених вище величин, будуть більш жорсткими.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Тематика розвитку досліджень подільників напруги в останній час набуває особливої активності у зв'язку з перспективою заміни ними традиційних високовольтних електромагнітних трансформаторів напруги в концепції «цифрова підстанція» [8].

У [9; 10] повідомляється про розробки високовольтних подільників напруги (ВПН) в діапазоні входних напруг від 10 до 200 кВ частоти $f = 50$ Гц з похибкою коефіцієнта ділення $\pm 1\%$, що гарантує максимальну зміну коефіцієнта ділення ВПН від -1% до $+1\%$, тобто на 2% .

Проте в стандартах [2—4] йдеться про визначення якості електричної енергії на високій напрузі не тільки за її середньоквадратичним значенням, а й за гармоніками та інтергармоніками, при цьому вимоги по допустимій невизначеності вимірювань середньоквадратичної напруги складають вже $\pm 0,1\%$ [4]. За таких умов рівень точності подільників напруги [9; 10] є вже недостатнім, необхідні подальші ґрунтовні дослідження характеристик ВПН.

Показовим є розвиток досліджень високовольтних подільників напруги в останніх зарубіжних публікаціях [11—16]. Так, в [11] запропонований метод «подвоєння напруги», що дає змогу виявити нестабільність коефіцієнта ділення ВПН від 10 до 500 кВ на рівні 1 мВ/1 кВ, тобто 10^{-6} відносних одиниць, або 0,0001%. У [12] запропонований метод дослідження зміни коефіцієнта ділення ВПН промислової частоти за допомогою порівняння з трансформаторами напруги до 110/ $\sqrt{3}$ кВ. У [13] досліджена модель ВПН з використанням методу оцінки струмів витоку в його конструкції, що забезпечує невизначеність вимірювання його коефіцієнта ділення до $4 \cdot 10^{-6}$ відносних одиниць, або 0,0004%. У [14] показано, що при використанні стабілітронів як структурних елементів ВПН невизначеність вимірювання його коефіцієнта ділення може досягати 0,0005%. У [15] відпрацьована нова конструкція модулів резисторів і виконана оцінка невизначеності вимірювання зміни коефіцієнта ділення ВПН до 1000 кВ на рівні 0,0005%. У [16] показана важливість використання в схемі ВПН резисторів з допуском $\pm 1\%$ для досягнення його високої точності, обговорюється також можливість приєднання ємнісної складової до схеми резистивного ВПН для розширення його робочого діапазону частот.

В аналітичних дослідженнях високовольтних подільників напруги значення опорів та ємностей їх провідних елементів зазвичай обираються ідентичними або такими, що змінюються за заданим законом. Але навіть у випадку «ідеального» початкового підбору елементів значення їх опору і

ємностей у часі можуть змінюватись, що пов'язано з впливом зовнішніх умов і ряду факторів, тому виникає необхідність розглядати характеристики подільника напруги з урахуванням неідентичності його елементів.

Високовольтне плече подільника змішаного типу можна розглядати у вигляді кола, що містить n паралельно-послідовно з'єднаних резистивних та ємнісних елементів R_i, C_i (рис. 1), де R_i, C_i — елементи високовольтного плеча, r, x — елементи низьковольтного плеча подільника напруги [6].

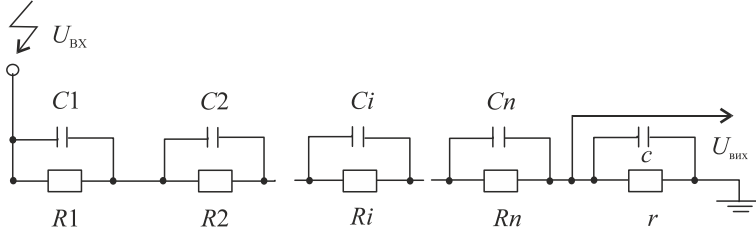


Рис. 1. Схема високовольтного подільника напруги змішаного типу [5]

У [5] одержані загальні вирази для залежності амплітудно-частотної A та фазочастотної φ характеристик ВПН від безрозмірного параметра частоти $\gamma = \omega R_0 C_0$, де $\omega = 2\pi f$ — кутова частота, R_0, C_0 — усереднені значення R -, C -елементів високовольтного плеча:

$$R_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i, \quad C_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n C_i$$

$$A = \frac{1}{k} A^*, \quad A^* = \sqrt{\frac{1 + \gamma^2}{\left(1 + \frac{k-1}{k} f\right)^2 + \gamma^2 \left(1 + \frac{k-1}{k} \delta\right)^2}}; \quad (1)$$

$$\varphi = \arctg \left[\frac{(\delta - f) \gamma}{f + \frac{k}{k-1} + \gamma^2 \left(\delta + \frac{k}{k-1}\right)} \right], \quad (2)$$

де k — номінальне значення коефіцієнта ділення подільника напруги, відповідно до якого визначаються:

$$r = \frac{n R_0}{k-1}, \quad c = \frac{C_0}{n} (k-1), \quad (3)$$

а параметри $f = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i$, $\delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n G_i$ враховують усереднені по елементам

високовольтного плеча функції неідентичності його елементів $\alpha_i = \frac{C_i - C_0}{C_0}$,

$\beta_i = \frac{R_i - R_0}{R_0}$ у вигляді виразів:

$$D_i = \frac{\gamma^2 \cdot (T_i + \gamma^2 \cdot S_i)}{(1 + \gamma^2) \left[1 + \gamma^2 (1 + \beta_i)^2 (1 + \alpha_i)^2 \right]}; \quad (4)$$

$$G_i = \frac{\beta_i^2 + 2\alpha_i\beta_i + \alpha_i\beta_i^2 + \gamma^2 \cdot (P_i + \gamma^2 Q_i)}{(1 + \gamma^2) \left[1 + \gamma^2 (1 + \beta_i)^2 (1 + \alpha_i)^2 \right]}, \quad (5)$$

де $Q_i = \alpha_i^2 \cdot (1 + \alpha_i)(1 + \beta_i)^2$;

$$\begin{aligned} T_i &= - \left(6\alpha_i\beta_i + 6\alpha_i\beta_i^2 + 2\alpha_i\beta_i^3 + \alpha_i^2 + 3\alpha_i^2\beta_i + 3\alpha_i^2\beta_i^2 + \alpha_i^2\beta_i^3 + 3\beta_i^2 + \beta_i^3 \right); \\ S_i &= 2\alpha_i\beta_i + 4\alpha_i\beta_i^2 + 2\alpha_i\beta_i^3 + 3\alpha_i^2 + 7\alpha_i^2\beta_i + 5\alpha_i^2\beta_i^2 + 2\alpha_i^3 + 4\alpha_i^3\beta_i + 2\alpha_i^3\beta_i^2 + \\ &+ \beta_i^2 + \beta_i^3 + \alpha_i^2\beta_i^3; \\ P_i &= - \left(\frac{6\alpha_i\beta_i + 9\alpha_i\beta_i^2 + 4\alpha_i\beta_i^3 + 3\alpha_i^2 + 8\alpha_i^2\beta_i + 7\alpha_i^2\beta_i^2 + 2\alpha_i^2\beta_i^3 + \alpha_i^3 +}{2\alpha_i^3\beta_i + \alpha_i^3\beta_i^2 + 3\beta_i^2 + 2\beta_i^3} \right). \end{aligned}$$

Слід зазначити, що вирази (1—5) одержані в [5] у загальному випадку, без допущення малості параметрів α_i , β_i , γ . У випадку відсутності неідентичності R_i, C_i елементів $\alpha_i = 0$, $\beta_i = 0$, з (4), (5) одержимо $f \equiv 0$, $\delta \equiv 0$, і відповідно $A^* \equiv 1$ (1) та $\varphi \equiv 0$ (2).

Слід зазначити, що в [5] були розраховані залежності $A^*(\gamma)$, $\varphi(\gamma)$ для випадку неідентичності конденсаторів високовольтного плеча подільника напруги, тобто, для випадку $\alpha_i \neq 0$, $\beta_i = 0$.

Метою дослідження є визначення спільного впливу неідентичності R , C – елементів високовольтного плеча змішаного високовольтного подільника напруги на його амплітудно- та фазочастотні характеристики.

Для досягнення мети потрібно вирішити такі завдання:

- побудувати математичну модель високовольтного подільника напруги з урахуванням спільного впливу неідентичності R_i -, C_i -елементів високовольтного плеча;

- визначити вплив неідентичності R_i -, C_i -елементів при використанні різних значень відхилень від середніх значень ємності конденсаторів та опору резисторів високовольтного плеча подільника напруги.

Викладення основних результатів дослідження. Оскільки кількість n -елементів високовольтного плеча досягає сотень і тисяч одиниць, необхідно в подальшому при знаходженні f , δ переходити до функцій статистичного розподілення α , β . За [5], наближеним до практики є «трикутне» розподілення α , β .

На рис. 2 показано закон «трикутного» розподілення ймовірності випадання відхилення α або β в діапазоні від $-\Delta_1$ ($-\Delta_2$) до $+\Delta_1$ ($+\Delta_2$) відповідно.

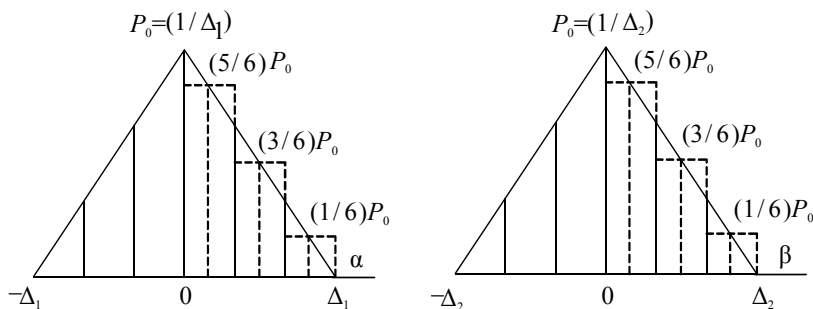


Рис. 2. Графік «трикутного» розподілення ймовірностей $p(\alpha)$ або $p(\beta)$

Значення ймовірності $p_0 = \frac{1}{\Delta_1}$, або $\left(\frac{1}{\Delta_2}\right)$ знаходимо з умови нормування:

$$\int_{-\Delta_1}^{\Delta_1} p(\alpha) \cdot d\alpha = 1, \quad \int_{-\Delta_2}^{\Delta_2} p(\beta) \cdot d\beta = 1.$$

Тоді закон імовірності для значень відхилень $\alpha < 0$ матиме такий вигляд:

$$p(\alpha) = \frac{1}{\Delta_1} \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{\Delta_1}\right). \quad (6)$$

Для позитивних значень α відповідно маємо:

$$p(\alpha) = \frac{1}{\Delta_1} \cdot \left(1 - \frac{\alpha}{\Delta_1}\right). \quad (7)$$

Для розподілення за відхиленнями β одержимо: $p(\beta) = \frac{1}{\Delta_2} \cdot \left(1 + \frac{\beta}{\Delta_2}\right)$ —

для значень $\beta < 0$, та $p(\beta) = \frac{1}{\Delta_2} \cdot \left(1 - \frac{\beta}{\Delta_2}\right)$ — для значень $\beta > 0$.

Застосування даних виразів для знаходження усереднених значень f , δ вимагає подвійного інтегрування по α , β , що створює певні труднощі. Зважаючи на це, замінимо неперервне «трикутне» розподілення (згідно з рис. 2) ступінчастим. Тоді відхиленню $\frac{1}{6}\Delta_1$ (або $-\frac{1}{6}\Delta_1$) відповідає ймовірність $\frac{5}{6}p_0$, відхиленню $\frac{1}{2}\Delta_1$ (або $-\frac{1}{2}\Delta_1$) відповідає ймовірність $\frac{3}{6}p_0$, відхиленню $\frac{5}{6}\Delta_1$ (або $-\frac{5}{6}\Delta_1$) відповідає ймовірність $\frac{1}{6}p_0$.

Переходячи до мінімальних цілочислових значень для даних імовірностей, одержимо кількість усіх варіантів $n_\alpha = 18$. При цьому по 5 варіантах випадає значення відхилення $+\frac{\Delta_1}{6}$ або $-\frac{\Delta_1}{6}$, по 3 варіантам — значення $+\frac{\Delta_1}{2}$ (або $-\frac{\Delta_1}{2}$)

та по одному варіанту випадає значення відхилення α , яке дорівнює $+\frac{5}{6}\Delta_1$ або $-\frac{5}{6}\Delta_1$. З урахуванням того, що для параметра β приймаємо аналогічне представлення ймовірностей «випадання» значень $\pm\frac{\Delta_2}{6}$, $\pm\frac{\Delta_2}{2}$, $\pm\frac{5}{6}\Delta_2$ та приймаючи аналогічно, що $n_\beta = 18$, за формулою (8) знаходимо кількість усіх варіантів:

$$N_{\alpha,\beta} = n_\alpha \cdot n_\beta = 18 \cdot 18 = 324. \quad (8)$$

Вважаючи ймовірність випадання відхилень α , β незалежними, одержимо кінцеві вирази для параметрів f , δ з урахуванням неідентичності, в загальному випадку як R -, так і C -елементів високовольтного плеча, при цьому вирази $D\left(-\frac{5}{6}\Delta_1; +\frac{5}{6}\Delta_2\right)$ та $G\left(-\frac{5}{6}\Delta_1; +\frac{5}{6}\Delta_2\right)$, як приклад, будуть означати, відповідно, значення D (4) при $\alpha_i = -\frac{5}{6}\Delta_1$ та $\beta_i = \frac{5}{6}\Delta_2$, або G (5) при $\alpha_i = -\frac{5}{6}\Delta_1$ та $\beta_i = \frac{5}{6}\Delta_2$ тощо за формулами (9) та (10).

$$\begin{aligned} 324f = & D\left(-\frac{5}{6}\Delta_1; -\frac{5}{6}\Delta_2\right) + D\left(-\frac{5}{6}\Delta_1; \frac{5}{6}\Delta_2\right) + D\left(\frac{5}{6}\Delta_1; -\frac{5}{6}\Delta_2\right) + D\left(\frac{5}{6}\Delta_1; \frac{5}{6}\Delta_2\right) + \\ & +3 \left[D\left(-\frac{1}{2}\Delta_1; -\frac{5}{6}\Delta_2\right) + D\left(-\frac{1}{2}\Delta_1; \frac{5}{6}\Delta_2\right) + D\left(\frac{1}{2}\Delta_1; -\frac{5}{6}\Delta_2\right) + D\left(\frac{1}{2}\Delta_1; \frac{5}{6}\Delta_2\right) + \right. \\ & \left. + D\left(-\frac{5}{6}\Delta_1; -\frac{1}{2}\Delta_2\right) + D\left(-\frac{5}{6}\Delta_1; \frac{1}{2}\Delta_2\right) + D\left(\frac{5}{6}\Delta_1; -\frac{1}{2}\Delta_2\right) + D\left(\frac{5}{6}\Delta_1; \frac{1}{2}\Delta_2\right) \right] + \\ & +5 \left[D\left(-\frac{5}{6}\Delta_1; -\frac{1}{6}\Delta_2\right) + D\left(-\frac{5}{6}\Delta_1; \frac{1}{6}\Delta_2\right) + D\left(\frac{5}{6}\Delta_1; -\frac{1}{6}\Delta_2\right) + D\left(\frac{5}{6}\Delta_1; \frac{1}{6}\Delta_2\right) + \right. \\ & \left. + D\left(-\frac{1}{6}\Delta_1; -\frac{5}{6}\Delta_2\right) + D\left(-\frac{1}{6}\Delta_1; \frac{5}{6}\Delta_2\right) + D\left(\frac{1}{6}\Delta_1; -\frac{5}{6}\Delta_2\right) + D\left(\frac{1}{6}\Delta_1; \frac{5}{6}\Delta_2\right) \right] + \\ & +9 \left[D\left(-\frac{1}{2}\Delta_1; -\frac{1}{2}\Delta_2\right) + D\left(-\frac{1}{2}\Delta_1; \frac{1}{2}\Delta_2\right) + D\left(\frac{1}{2}\Delta_1; -\frac{1}{2}\Delta_2\right) + D\left(\frac{1}{2}\Delta_1; \frac{1}{2}\Delta_2\right) \right] + \\ & +15 \left[D\left(-\frac{1}{2}\Delta_1; -\frac{1}{6}\Delta_2\right) + D\left(-\frac{1}{2}\Delta_1; \frac{1}{6}\Delta_2\right) + D\left(\frac{1}{2}\Delta_1; -\frac{1}{6}\Delta_2\right) + D\left(\frac{1}{2}\Delta_1; \frac{1}{6}\Delta_2\right) + \right. \\ & \left. + D\left(-\frac{1}{6}\Delta_1; -\frac{1}{2}\Delta_2\right) + D\left(-\frac{1}{6}\Delta_1; \frac{1}{2}\Delta_2\right) + D\left(\frac{1}{6}\Delta_1; -\frac{1}{2}\Delta_2\right) + D\left(\frac{1}{6}\Delta_1; \frac{1}{2}\Delta_2\right) \right] + \\ & +25 \left[D\left(-\frac{1}{6}\Delta_1; -\frac{1}{6}\Delta_2\right) + D\left(-\frac{1}{6}\Delta_1; \frac{1}{6}\Delta_2\right) + D\left(\frac{1}{6}\Delta_1; -\frac{1}{6}\Delta_2\right) + D\left(\frac{1}{6}\Delta_1; \frac{1}{6}\Delta_2\right) \right], \quad (9) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 324\delta = & G\left(-\frac{5}{6}\Delta_1; -\frac{5}{6}\Delta_2\right) + G\left(-\frac{5}{6}\Delta_1; \frac{5}{6}\Delta_2\right) + G\left(\frac{5}{6}\Delta_1; -\frac{5}{6}\Delta_2\right) + G\left(\frac{5}{6}\Delta_1; \frac{5}{6}\Delta_2\right) + \\
 & + 3 \left[G\left(-\frac{1}{2}\Delta_1; -\frac{5}{6}\Delta_2\right) + G\left(-\frac{1}{2}\Delta_1; \frac{5}{6}\Delta_2\right) + G\left(\frac{1}{2}\Delta_1; -\frac{5}{6}\Delta_2\right) + G\left(\frac{1}{2}\Delta_1; \frac{5}{6}\Delta_2\right) + \right. \\
 & \left. + G\left(-\frac{5}{6}\Delta_1; -\frac{1}{2}\Delta_2\right) + G\left(-\frac{5}{6}\Delta_1; \frac{1}{2}\Delta_2\right) + G\left(\frac{5}{6}\Delta_1; -\frac{1}{2}\Delta_2\right) + G\left(\frac{5}{6}\Delta_1; \frac{1}{2}\Delta_2\right) \right] + \\
 & + 5 \left[G\left(-\frac{5}{6}\Delta_1; -\frac{1}{6}\Delta_2\right) + G\left(-\frac{5}{6}\Delta_1; \frac{1}{6}\Delta_2\right) + G\left(\frac{5}{6}\Delta_1; -\frac{1}{6}\Delta_2\right) + G\left(\frac{5}{6}\Delta_1; \frac{1}{6}\Delta_2\right) + \right. \\
 & \left. + G\left(-\frac{1}{6}\Delta_1; -\frac{5}{6}\Delta_2\right) + G\left(-\frac{1}{6}\Delta_1; \frac{5}{6}\Delta_2\right) + G\left(\frac{1}{6}\Delta_1; -\frac{5}{6}\Delta_2\right) + G\left(\frac{1}{6}\Delta_1; \frac{5}{6}\Delta_2\right) \right] + \\
 & + 9 \left[G\left(-\frac{1}{2}\Delta_1; -\frac{1}{2}\Delta_2\right) + G\left(-\frac{1}{2}\Delta_1; \frac{1}{2}\Delta_2\right) + G\left(\frac{1}{2}\Delta_1; -\frac{1}{2}\Delta_2\right) + G\left(\frac{1}{2}\Delta_1; \frac{1}{2}\Delta_2\right) \right] + \\
 & + 15 \left[G\left(-\frac{1}{2}\Delta_1; -\frac{1}{6}\Delta_2\right) + G\left(-\frac{1}{2}\Delta_1; \frac{1}{6}\Delta_2\right) + G\left(\frac{1}{2}\Delta_1; -\frac{1}{6}\Delta_2\right) + G\left(\frac{1}{2}\Delta_1; \frac{1}{6}\Delta_2\right) + \right. \\
 & \left. + G\left(-\frac{1}{6}\Delta_1; -\frac{1}{2}\Delta_2\right) + G\left(-\frac{1}{6}\Delta_1; \frac{1}{2}\Delta_2\right) + G\left(\frac{1}{6}\Delta_1; -\frac{1}{2}\Delta_2\right) + G\left(\frac{1}{6}\Delta_1; \frac{1}{2}\Delta_2\right) \right] + \\
 & + 25 \left[G\left(-\frac{1}{6}\Delta_1; -\frac{1}{6}\Delta_2\right) + G\left(-\frac{1}{6}\Delta_1; \frac{1}{6}\Delta_2\right) + G\left(\frac{1}{6}\Delta_1; -\frac{1}{6}\Delta_2\right) + G\left(\frac{1}{6}\Delta_1; \frac{1}{6}\Delta_2\right) \right].
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

Або ж у зведеному вигляді отримаємо усереднені по елементам високовольтного плеча величини, які набувають такого вигляду:

$$f = \frac{1}{324} \sum D, \quad \delta = \frac{1}{324} \sum G, \tag{11}$$

де $\sum D$, $\sum G$ — вирази у правих частинах (9), (10).

Якщо підставити ці значення у формули (1), (2), можна дослідити вплив неідентичності R -, C - елементів на амплітудно-частотну характеристику A (АЧХ) та фазочастотну характеристику φ (ФЧХ) високовольтного подільника напруги.

Згідно з (1)—(11), за допомогою пакета MATLAB розраховуємо величини невизначеності за напругою $A' = (A^* - 1) \cdot 100\%$ та невизначеності за кутом φ ВПН залежно від безрозмірного параметра частоти γ , якому надаються значення: $\gamma = 10^{-3}; 10^{-2,75}; 10^{-2,5}; 10^{-2,25}; 10^{-2}; 10^{-1,75}; 10^{-1,5}; 10^{-1,25}; 10^{-1}; 10^{-0,75}; 10^{-0,5}; 10^{-0,25}; 10^0; 10^{0,25}; 10^{0,5}; 10^{0,75}; 10^1; 10^{1,25}; 10^{1,5}; 10^{1,75}; 10^2; 10^{2,25}; 10^{2,5}; 10^{2,75}; 10^3$.

Раніше проводився аналіз впливу неідентичності тільки C - елементів високовольтного плеча подільника напруги на частотні характеристики [5], а вплив неідентичності R - елементів взагалі не досліджувався. У зв'язку з цим були проведені розрахунки АЧХ та ФЧХ за формулами (1)—(11) для значень

$\Delta_2 = 0,01; 0,02; 0,03; 0,04; 0,05; 0,06$ при фіксованому значенні $\Delta_1 = 0$. На рис. 3 побудовані одержані залежності $A'(\%)$ та $\varphi(^{\circ})$ ВПН від параметра γ , який змінюється в діапазоні від 10^{-3} до 10^3 відносних одиниць.

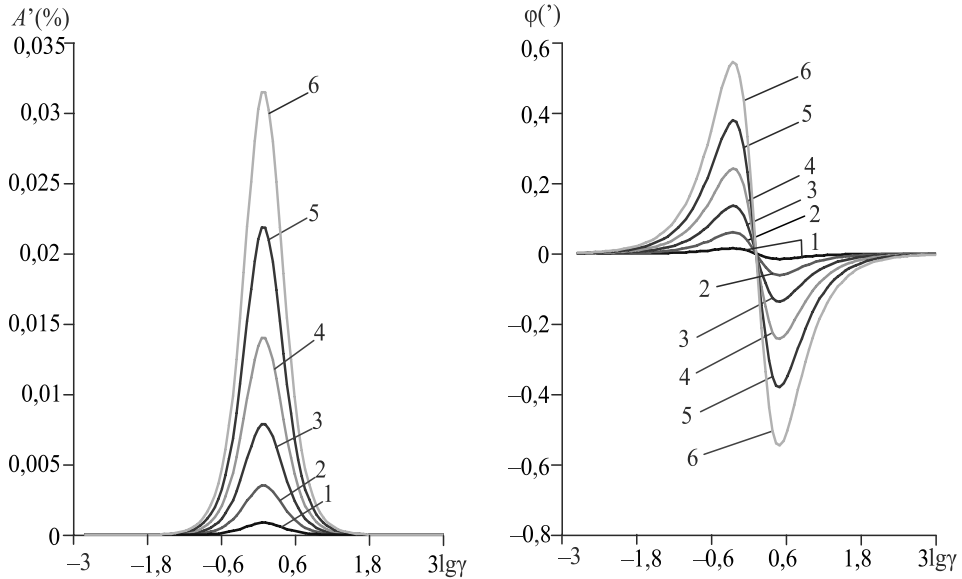


Рис. 3. Залежності невизначеності за напругою $A'(\%)$, вираженою у відсотках (а), та невизначеності за кутом $\varphi(^{\circ})$, вираженою у кутових хвилинах (б), ВПН від безрозмірного параметра частоти γ для значень $\Delta_2 = 0,01; 0,02; 0,03; 0,04; 0,05; 0,06$ та $\Delta_1 = 0$, при цьому позначення 1 відповідає $\Delta_2 = 0,01$; позначення 2 відповідає $\Delta_2 = 0,02$; позначення 3 відповідає $\Delta_2 = 0,03$; позначення 4 відповідає $\Delta_2 = 0,04$; позначення 5 відповідає $\Delta_2 = 0,05$; позначення 6 відповідає $\Delta_2 = 0,06$

У подальшому розраховувались сімейства залежностей $A'(\%)$, $\varphi(^{\circ})$ від γ для певних значень $\Delta_1 \neq 0$ при зміні Δ_2 в діапазоні: $0,00; 0,01; 0,02; 0,03; 0,04; 0,05$ (всього 6 значень Δ_2). На рис. 4 представлено одержане сімейство залежностей $A'(\%)$, $\varphi(^{\circ})$ від γ для фіксованого значення $\Delta_1 = 0,025$ при зміні Δ_2 від $0,00$ до $0,05$.

Порівняння даних, наведених на рис. 3 і рис. 4—8, показує, що максимальний розмір нестабільності АЧХ ВПН, який визначимо параметром $\Delta A'_{\max} = A'_{\max} - A'_{\min}$, де $A'_{\max}$, $A'_{\min}$ — максимальне та мінімальне значення певної амплітудно-частотної характеристики, є суттєво нижчим для неідентичності резисторів високовольтного плеча, ніж для конденсаторів. Так, для неідентичності резисторів $\Delta_2 = 0,5$ ($\Delta_1 = 0$) значення даного параметра складає $\Delta A'_{\max} = 0,02187\%$, в той час як для неідентичності конденсаторів $\Delta_1 = 0,05$ ($\Delta_2 = 0$) значення $\Delta A'_{\max} = 0,04947\%$.

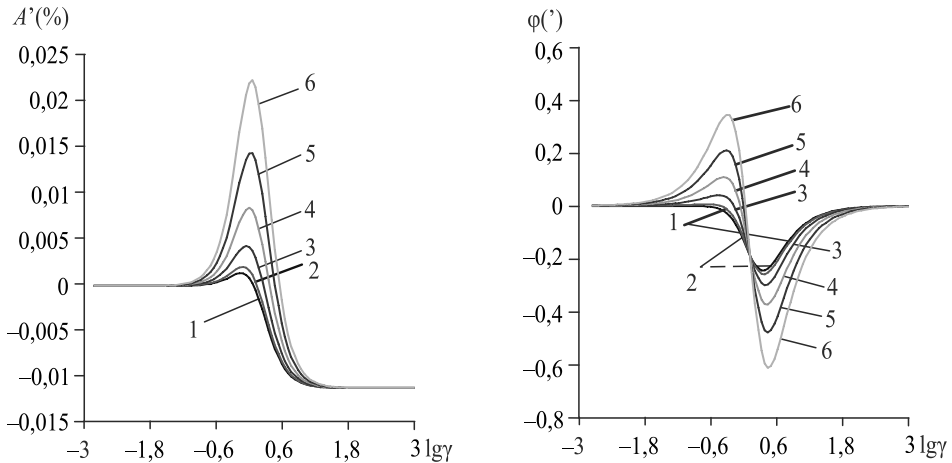


Рис. 4. Залежності невизначеності за напругою A' (%) (а) та невизначеності за кутом φ' (б) ВПН від безрозмірного параметра частоти γ для фіксованого $\Delta_1 = 0,025$ при зміні значень Δ_2 в діапазоні: 0,00; 0,01; 0,02; 0,03; 0,04; 0,05, при цьому позначення 1 відповідає $\Delta_2 = 0,00$; позначення 2 відповідає $\Delta_2 = 0,01$; позначення 3 відповідає $\Delta_2 = 0,02$; позначення 4 відповідає $\Delta_2 = 0,03$; позначення 5 відповідає $\Delta_2 = 0,04$; позначення 6 відповідає $\Delta_2 = 0,05$

На рис. 5—7, аналогічно зображені сімейства залежностей A' (%), φ' від γ для значень $\Delta_1 = 0,05$; 0,075; 0,1; 0,125 при зміні Δ_2 від 0,00 до 0,05.

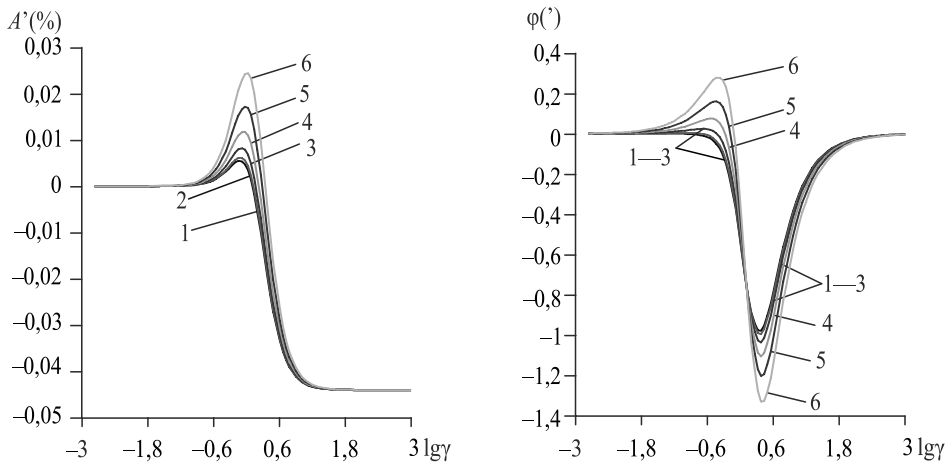


Рис. 5. Залежності невизначеності за напругою A' (%) (а) та невизначеності за кутом φ' (б) ВПН від безрозмірного параметра частоти γ для фіксованого $\Delta_1 = 0,05$ при зміні значень Δ_2 в діапазоні: 0,00; 0,01; 0,02; 0,03; 0,04; 0,05, при цьому позначення 1 відповідає $\Delta_2 = 0,00$; позначення 2 відповідає $\Delta_2 = 0,01$; позначення 3 відповідає $\Delta_2 = 0,02$; позначення 4 відповідає $\Delta_2 = 0,03$; позначення 5 відповідає $\Delta_2 = 0,04$; позначення 6 відповідає $\Delta_2 = 0,05$

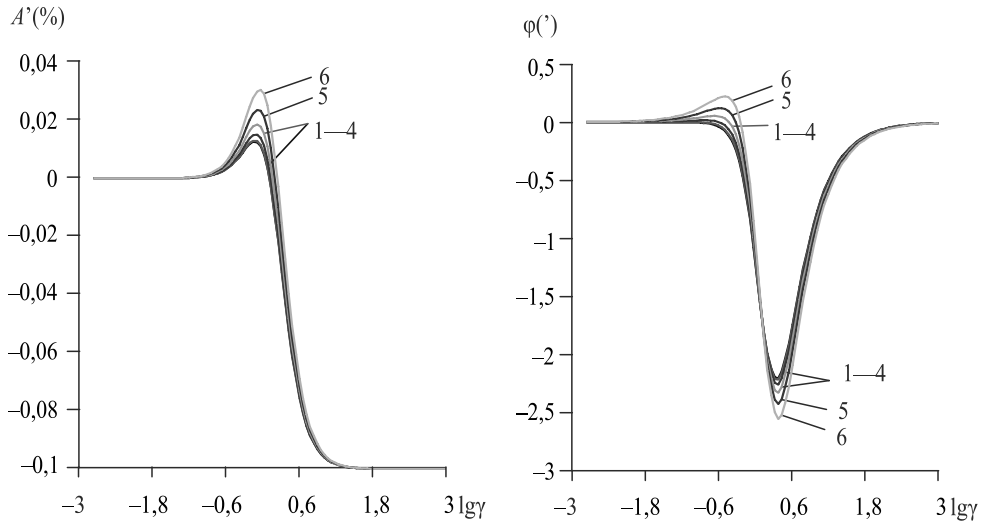


Рис. 6. Залежності невизначеності за напругою A' (%) (а) та невизначеності за кутом φ (б) ВПН від безрозмірного параметра частоти γ для фіксованого $\Delta_1 = 0,075$ при зміні значень Δ_2 в діапазоні: 0,00; 0,01; 0,02; 0,03; 0,04; 0,05, при цьому позначення 1 відповідає $\Delta_2 = 0,00$; позначення 2 відповідає $\Delta_2 = 0,01$; позначення 3 відповідає $\Delta_2 = 0,02$; позначення 4 відповідає $\Delta_2 = 0,03$; позначення 5 відповідає $\Delta_2 = 0,04$; позначення 6 відповідає $\Delta_2 = 0,05$

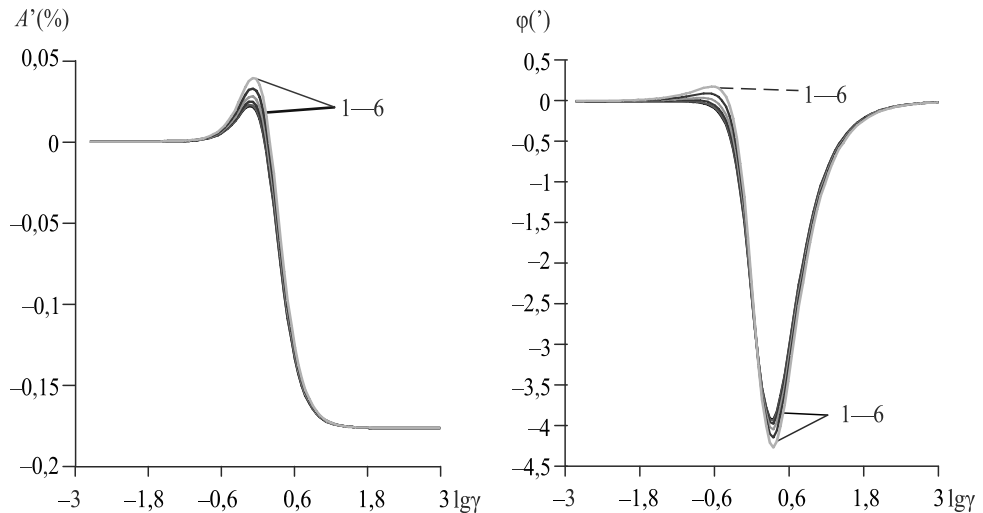


Рис. 7. Залежності невизначеності за напругою A' (%) (а) та невизначеності за кутом φ (б) ВПН від безрозмірного параметра частоти γ для фіксованого $\Delta_1 = 0,1$ при зміні значень Δ_2 в діапазоні: 0,00; 0,01; 0,02; 0,03; 0,04; 0,05, при цьому позначення 1 відповідає $\Delta_2 = 0,00$; позначення 2 відповідає $\Delta_2 = 0,01$; позначення 3 відповідає $\Delta_2 = 0,02$; позначення 4 відповідає $\Delta_2 = 0,03$; позначення 5 відповідає $\Delta_2 = 0,04$; позначення 6 відповідає $\Delta_2 = 0,05$

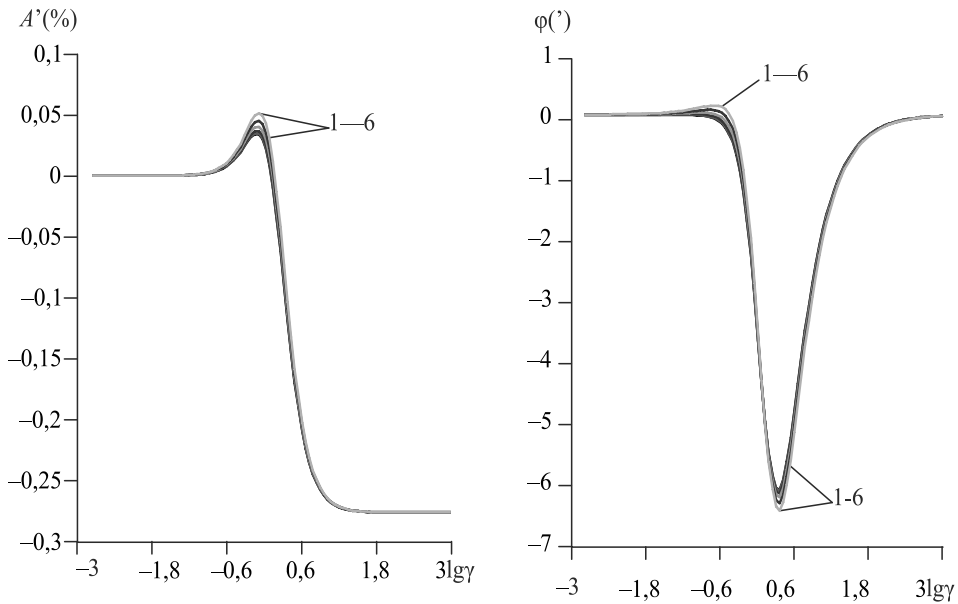


Рис. 8. Залежності невизначеності за напругою $A'(\%)$ (а) та невизначеності за кутом $\varphi(^{\circ})$ (б) ВПН від безрозмірного параметра частоти γ для фіксованого $\Delta_1 = 0,125$ при зміні значень Δ_2 в діапазоні: 0,00; 0,01; 0,02; 0,03; 0,04; 0,05, при цьому позначення 1 відповідає $\Delta_2 = 0,00$; позначення 2 відповідає $\Delta_2 = 0,01$; позначення 3 відповідає $\Delta_2 = 0,02$; позначення 4 відповідає $\Delta_2 = 0,03$; позначення 5 відповідає $\Delta_2 = 0,04$; позначення 6 відповідає $\Delta_2 = 0,05$

Максимальні $\varphi(^{\circ})$ за рис. 3 (б) групуються при значенні $\gamma = 0,49$, а мінімальні значення $\varphi(^{\circ})$ відповідають $\gamma = 3,04$, причому максимальні та мінімальні значення кривих $\varphi(^{\circ})$ від γ за абсолютною величиною збігаються.

Як максимальні значення $A'(\%)$, так і $\varphi(^{\circ})$ для певних Δ_2 ($\Delta_1 = 0$) за рис. 3(а), 3(б) є пропорційними квадрату Δ_2 , тобто $(\Delta_2)^2$, причому значення $A'_{\max}(\%)$ за рис. 3(а) групуються при $\gamma = 1,32$.

На рис. 9 показана залежність параметра $A'_{\max}$ від Δ_1 ($\Delta_2 = 0$) в діапазоні зміни $0 \leq \Delta_1 \leq 0,125$, яка, аналогічно вищезазначеним залежностям, є параболічною. За даними цієї залежності, за умови неперевищення допустимої нестабільності АЧХ ВПН 0,25%, допустимий розкид ємностей конденсаторів високовольтного плеча подільника напруги не повинен перевищувати $\Delta_1 = 0$ ($\pm 10\%$).

Спільний вплив неідентичності R -, C -елементів високовольтного плеча ВПН збільшує нестабільність амплітудно- та фазочастотних характеристик змішаного подільника напруги. При цьому додатковим впливом розкиду резисторів $\Delta_2 = 0,01$ (1%) можна нехтувати для значень розкиду ємнісних елементів високовольтного плеча $\Delta_1 = 0,025 \dots 0,125$ ($\pm 2,5 \dots 12,5\%$).

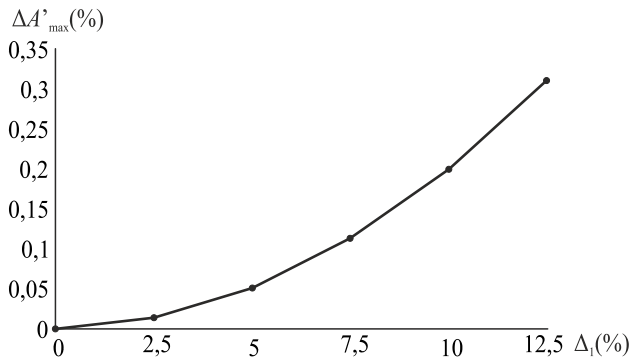


Рис. 9. Залежність максимального розміру нестабільності амплітудно-частотної характеристики ВПН $\Delta A'_{max}$ від розкиду ємностей високовольтного плеча змішаного ємнісно-омічного подільника напруги Δ_1 (%) при нехтуванні впливом розкиду резистивних елементів

Найбільш суттєва область нестабільності АЧХ ВПН знаходиться в діапазоні $-1,2 \leq \lg \gamma \leq 1,2$ ($0,063 \leq \gamma \leq 15,8$), в той час як для ФЧХ ВПН область прояву нестабільності є більш широкою і складає $-1,8 \leq \lg \gamma \leq 3$ ($0,016 \leq \gamma \leq 1000$).

Характер зміни як АЧХ, так і ФЧХ залежно від γ є знакозмінним при спільному впливі неідентичності R - , C - елементів високовольтного плеча, і тільки при впливі неідентичності C - елементів зміни ФЧХ ВПН відбуваються лише в від'ємній області $\varphi < 0$.

Висновки

1. Вперше одержані аналітичні вирази, що дають змогу досліджувати спільний вплив неідентичності R - , C - елементів високовольтного плеча змішаного ємнісно-омічного подільника напруги на його амплітудно- та фазочастотні характеристики.

2. Для змішаних високовольтних подільників напруги, призначених для вимірювання гармонік при контролі якості електричної енергії на високій напрузі, допускається розкид ємностей конденсаторів високовольтного плеча, що не перевищує $\pm 10\%$, при цьому впливом розкиду резисторів високовольтного плеча $\pm 1\%$ можна нехтувати.

3. Характер зміни як амплітудно-, так і фазочастотної характеристик змішаного високовольтного подільника напруги від безрозмірного параметра частоти γ при спільному впливі R - та C - елементів високовольтного плеча є знакозмінним, і тільки при впливі неідентичності C - елементів зміни ФЧХ ВПН відбуваються лише в від'ємній області $\varphi < 0$.

Література

1. Іващенко М.М. Аналіз існуючих еталонів електричної напруги змінного струму / М.М. Іващенко, В.А. Єрмолаєв // Системи управління, навігації та зв'язку. — 2010. — Вип. 4. — С. 104—106.

2. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения [Текст] : Введ.01.01.1999. — Минск : Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации ; Москва : Изд-во стандартов, 1998. — 31 с.
3. EN 50160:2010 'Voltage characteristics of electricity supplied by public distribution networks'. — Vervangt NEN-EN 50160:2000; NEN-EN 50160:2000/C13:2004 ; NEN-EN 50160:2005 Ontw. ICS 29.020 oktober 2007.
4. ДСТУ ІЕС 61000-4-30:2010 Електромагнітна сумісність. Частина 4-30. Методи випробування та вимірювання. Вимірювання показників якості електричної енергії (ІЕС 61000-4-30:2008, IDТ) [Текст]. — Діє з 01.07.2012 Надано чинності: наказ Держспоживстандарту України від 28 грудня 2010 року. — № 631. — Видаєць : Інститут електродинаміки Національної академії наук України.
5. Характеристики високовольтних подільників напруги, призначених для вимірювання показників якості електроенергії / С. Атарод, В.О. Бржезицький, Я.О. Гаран, І.М. Маслюченко, Ю.Л. Анохін // Наукові праці Національного університету харчових технологій. — Київ, 2013. — № 51. — С. 91—102.
6. ГОСТ 8.009-84 ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений [Текст]. МКС 17.020 ОКСТУ 0008 Постановлением Государственного комитета СССР по стандартам от 28 мая 1985 года. — № 1503 дата введения установлена 01.01.86 ВЗАМЕН ГОСТ 8.009-72 переиздание. — Октябрь 2003 г.
7. ДСТУ 3864-99 Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань електричної напруги змінного струму в діапазоні від 1 до $1,2 \cdot 500/\sqrt{3}$ кВ та коефіцієнта масштабного перетворення електричної напруги на частоті 50 Гц. [Текст]. — Чинний від 2000-01-01. — Київ : Держстандарт України, 1999. — УДК 621.317. — Група 17.220.20 (Т84). — 16 с.
8. ДСТУ ІЕС 61850-3:2013 Комунікаційні мережі та системи на підстанціях. Частина 3. Загальні технічні вимоги (ІЕС 61850-3:2002, IDТ) [Текст]. — Діє з 01.07.2014, затверджено наказом Міністерства економічного розвитку і торгівлі України від 29 листопада 2013 року. — № 1423.
9. Офіційний сайт компанії «ТЕСТСЕТ» [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://testsetspb.ru/all/device/dn/>
10. Офіційний сайт компанії «Електронприбор» [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://testsetspb.ru/all/device/dn/>
11. Qian Li, Leren Wang, Shuhan Zhang, Yuejin Tang, Yan Xu Method to Determine the Ratio Error of DC High-Voltage Dividers in Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions. — April 2012. — Vol. 61, # 4. — P. 1072—1078.
12. Haiming Shao, Bo Liang, Feipeng Lin, Dongxue Dai, Zhi Li The voltage coefficient determination of high voltage capacitive divider by serial summation of voltage transformers, in Precision Electromagnetic Measurements (CPEM 2014), 2014 Conference. — P. 772—773.
13. Feipeng Lin, Huanghui Zhang, Haiming Shao, Bo Liang Research on voltage variation of DC high-voltage resistive divider by Measuring Leakage Current, in Precision Electromagnetic Measurements (CPEM 2014), 2014 Conference on. — P. 384—385.
14. Merev A., Hallstrom J.K., A Reference System for Measuring High-DC Voltage Based on Voltage References, in Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions. — Jan. 2015. — Vol. 64, # 1. — P. 184—189.
15. Yi Li, Ediriweera M.K., Emms F.S., Lohrasby A. Development of Precision DC High-Voltage Dividers, in Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions. — July 2011. — Vol.60, # 7. — P. 2211—2216.
16. Prochazka R., Hlavacek J., Draxler K., Styblikova R. Precise 10 and 20 kV DC/AC resistive divider, in Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2013 IEEE International. — P. 774—777.

ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ НЕИДЕНТИЧНОСТЬЮ R-, C-ЭЛЕМЕНТОВ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ДЕЛИТЕЛЯ НАПРЯЖЕНИЯ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

В.А. Бржезицкий, О.М. Десятов, И.Н. Маслюченко, И.С. Яценко

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

В статье рассмотрено влияние неидентичности элементов высоковольтного плеча смешанного делителя напряжения на его частотные характеристики. Получены аналитические выражения для исследования влияния неидентичности элементов высоковольтного делителя напряжения, которые могут быть применены при проектировании делителей и при измерении показателей качества электрической энергии на высоком напряжении. Показано, что исходя из необходимости обеспечения определенного уровня стабильности характеристик высоковольтного делителя напряжения, разброс емкостей конденсаторов его высоковольтного плеча не должен превышать $\pm 10\%$, в то время как разбросом резистивных элементов до $\pm 1\%$ можно пренебрегать. Полученные в статье результаты рекомендуется использовать при создании стационарных и мобильных лабораторий по определению качества электрической энергии в высоковольтных сетях.

Ключевые слова: высоковольтный делитель напряжения, неидентичность элементов, качество электроэнергии, фазочастотная характеристика, амплитудно-частотная характеристика.

УДК 621.311.153

VOLTAGE CONTROL SYSTEM WITH FUZZY CONTROLLERS WITHIN THE POWER DISTRIBUTION SYSTEM OF INDUSTRIAL PLANT

S. Baluta, V. Jovbak, L. Kopilova, E. Korolyov

National University of Food Technologies

Key words:

*Voltage control
Fuzzy logic
Electrical distribution
system of industrial plant
Optimization of power
consumption
Transformer voltage
regulation*

Article history:

Received 05.11.2016

Received in revised form
24.11.2016

Accepted 16.12.2016

Corresponding author:

S. Baluta

E-mail:

npuht@ukr.net

ABSTRACT

The problem of voltage control for the optimization of electricity consumption is important for the industry because it allows reducing the power consumption of the industry products. This paper presents the two-tier system for regulating electricity supply at industrial enterprises: the lower level constitutes of plant department transformers with an electronic switch and the upper level represents an LPT transformer. Three-level information system is used for the control. The control algorithms were developed for the controllers of the upper and lower levels of regulation based on fuzzy logic providing information, time, cost and other characteristics of the voltage control system efficiency.

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ НАПРУГОЮ З НЕЧІТКИМИ РЕГУЛЯТОРАМИ В СИСТЕМІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

С.М. Балюта, В.Д. Йовбак, Л.О. Копилова, Є.О. Корольов

Національний університет харчових технологій

Проблема керування напругою з метою оптимізації споживання електричної енергії є актуальною для промисловості, оскільки дає змогу зменшити енергоємність продукції, що випускається підприємствами галузі. В статті представлена дворівнева система регулювання напруги в електричній мережі промислового підприємства, де нижній рівень — це цехові трансформатори з ПБЗ з електронним комутатором, а верхній — трансформатор ГПП з РПН. Для керування використовується трирівнева інформаційна система. Для контролерів верхнього і нижнього рівнів регулювання розроблені алгоритми керування на основі нечіткої логіки, які забезпечують інформаційні, точнісні, часові, вартісні та інші характеристики ефективності функціонування системи керування напругою.

Ключові слова: керування напругою, нечітка логіка, система електропостачання промислового підприємства, оптимізація електроспоживання, регулювання напруги трансформатора.

Постановка проблеми. Проблема зниження споживання електричної енергії є актуальною для харчової і цукрової промисловостей, оскільки дає змогу підвищити ефективність використання генеруючих потужностей, зменшити втрати електроенергії при транспортуванні та енергоємність продукції, що випускається підприємствами галузі. Одним із ефективних способів забезпечення раціональних рівнів споживання електричної енергії є регулювання напруги в електричних мережах промислових підприємств.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням керування електроспоживанням присвячені праці [1—4]. Так, в [1] представлена система автоматичного регулювання напруги (САРН) в розподільній мережі промислового підприємства 6—10 кВ за допомогою РПН трансформатора ГПП. Величина уставки напруги контролера розраховується для основного приєднання. Вибір основного приєднання проводиться з використанням нечіткої логіки. В [2] представлена АСРН в центрі живлення, що базується на автоматизованій системі обліку енергоресурсів і передбачає адаптивне налаштування регулятора трансформатора. Дворівнева САРН в центрі живлення представлена в [3]. На нижньому рівні встановлені регулятори трансформаторів 10/0,4 кВ на основі ПБЗ і електронного комутатора, а на верхньому рівні використовуються регулятори РПН трансформатора 110/10кВ. Сигнал на перемикання пристрою РПН трансформатора ГПП буде формуватися лише тоді, коли певна кількість регуляторів цехових підстанцій вичерпали свій діапазон регулювання. Регулювання напруги в системі електропостачання з використанням нечіткої логіки запропоновано в [4; 5], де представлені результати використання нечіткої логіки для синтезу регуляторів РПН трансформатора ГПП і регулятора напруги асинхронного двигуна, що живиться від частотного перетворювача. Аналіз вищезазначених праць показав, що при створенні САРН не враховуються статичні характеристики споживачів електричної енергії, крім того, не в повній мірі використовуються переваги узгодженого регулювання напруги на всіх ієрархічних рівнях системи електропостачання промислового підприємства.

Мета дослідження: розробити систему керування напругою в системі електропостачання промислового підприємства, алгоритми управління на основі нечіткої логіки, які забезпечать економічні, інформаційні, точнісні, часові та інші характеристики ефективного функціонування системи управління напругою в системі електропостачання промислового підприємства.

Виклад основних результатів дослідження. Система електропостачання промислового підприємства як об'єкт керування має такі особливості: велика швидкість електричних процесів; застосування різних спеціалізованих терміналів для різного електрообладнання та різних напруг; необхідність наявності реєстраторів аварійних режимів і своєчасна передача осцилограм на верхній рівень керування; необхідність технічного та/або комерційного обліку елек-

тричної енергії з її функціями; необхідність АРМ електрика з можливістю віддаленої роботи з терміналами РЗА.

При регулюванні напруги в електричних мережах повинні бути забезпечені:

- відповідність показників напруги вимогам державного стандарту;
- відповідність рівня напруги значенням, допустимим для обладнання електричних станцій і мереж з урахуванням допустимих експлуатаційних підвищень напруги промислової частоти на електрообладнанні (відповідно до даних заводів-виготовлювачів і циркулярів);
- мінімум втрат електроенергії в електричних мережах енергосистем.

Режими напруги вибирають залежно від характеру підключених до мережі споживачів і їх віддаленості від центру живлення.

На рівні електрообладнання базою для побудови автоматизованої системи керування напругою (АСКН) є мікропроцесорні пристрої захисту, автоматики управління (термінали РЗА), які, крім функцій РЗА, виконують функцію УЗО і мають комунікаційні порти. Для інтеграції в систему об'єктів, неохоплених терміналами РЗА, також використовуються термінали УСО (контролери). Завданням АСКН є забезпечення нормативних режимів роботи технологічного обладнання при раціональних рівнях споживання електричної енергії і втрат в електричних мережах підприємства. Для реалізації цього завдання пропонується використати дворівневу систему автоматичного регулювання управління напругою (АСКН) (рис. 1).

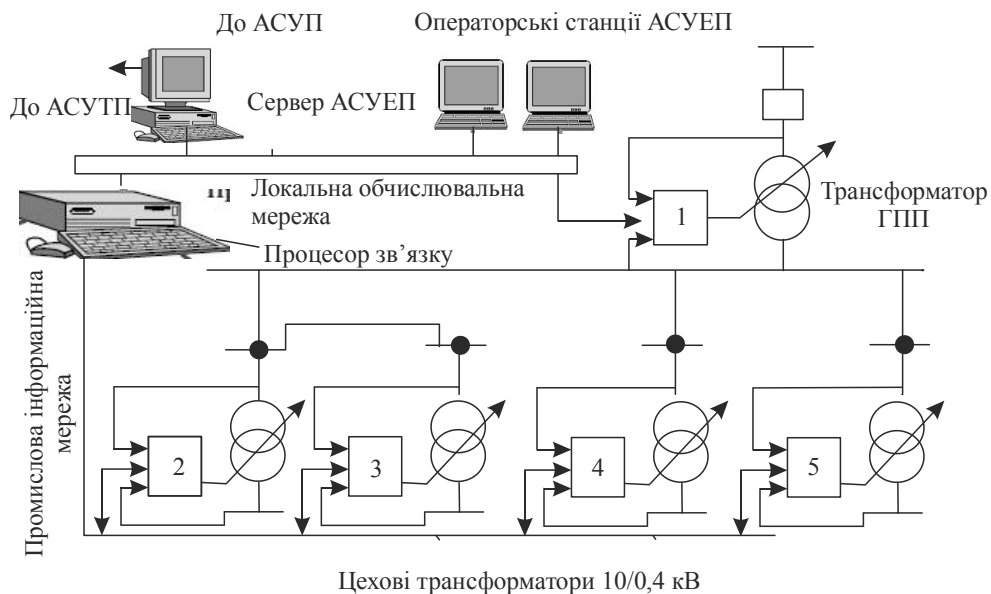


Рис. 1. Структурна схема дворівневої системи керування напругою на промисловому підприємстві: 1 — блок нечіткого керування напругою трансформатора ГПП, що складається з ТН і ТС; АЦП; ЦАП; мікроконтролера; устрою зв'язку з об'єктом; РПН; нечіткого регулятора трансформатора ГПП; 2...5 — блок нечіткого керування напругою цехового трансформатора, що складається з ТН і ТС; АЦП; ЦАП; мікроконтролера; устрою зв'язку з об'єктом; ПБЗ; електронного комутатора; нечіткого регулятора цехового трансформатора

На нижньому рівні АСКН система складається з системи регулювання напруги цехового трансформатора (ЦТ) на основі ПБЗ з електронним комутатором, а на верхньому — із системи регулювання напруги трансформатора ГПП на основі РПН. Технічна реалізація системи керування електропостачанням і підсистеми управління напругою передбачає вирішення завдань установки технічних засобів реалізації функції управління напругою, збору та передачі інформації.

Для забезпечення вирішення завдань керування електроспоживанням використовується трирівнева інформаційна система. Верхній рівень включає в себе: один або більше базових серверів (наприклад, на основі MicroSCADA); сервер зв'язку, графічні робочі станції (АРМ) користувачів; периферійне обладнання тощо). Середній рівень включає в себе: процесори зв'язку, де здійснюється збір інформації і перетворення її до єдиного вигляду для подальшої обробки. Компоненти верхнього і середнього рівнів об'єднуються між собою за допомогою локальної обчислювальної мережі на базі Ethernet при необхідності резервованої. Нижній рівень утворюють такі пристрої: віддалені термінали (RTU) і пристрої телемеханіки (ТМ); програмовані логічні контролери (PLC); цифрові термінали релейного захисту та автоматики (РЗА); пристрої контролю якості електроенергії. Зв'язок між системами регулювання нижнього і верхнього рівнів доцільно виконати на основі промислової інформаційної мережі типу Fieldbus.

При побудові АСКН був використаний принцип декомпозиції з урахуванням ієрархічного принципу побудови системи електропостачання: на рівні цехової підстанції вирішується завдання підтримання раціонального рівня напруги, що забезпечує оптимальне електроспоживання електроприймачами цеху при різних режимах технологічного обладнання, а на рівні трансформатора ГПП вирішується завдання підтримання заданих рівнів напруги на шинах 10 (6) кВ цехових трансформаторів з урахуванням їх електричної віддаленості від центру живлення, конфігурації розподільної електричної мережі підприємства і забезпечення раціональних втрат електричної енергії в електричних мережах в періоди максимуму та мінімуму навантаження енергосистеми.

Підсистема керування напругою цехового трансформатора складається з блоку визначення раціональних значень напруги і регулятора на основі нечіткої логіки. Розрахунок уставок значень напруг регулятора проводиться на основі математичної моделі електричної мережі цеху й окремих електроприймачів з урахуванням їх статичних характеристик навантаження і засобів компенсації реактивної потужності з використанням значень напруги, активної та реактивної потужностей, що вимірюються на шинах 0,4 кВ цехової ТП. За раціональні напруги прийняті такі значення напруги на шинах ТП, при яких втрати активної потужності в елементах цехової електричної мережі і цеховому трансформаторі компенсуються за рахунок зменшення споживання активної потужності споживачами електричної енергії. Вхідними величинами нечіткого регулятора вибрані різниця заданої та поточної напруги на шинах 0,4 кВ трансформатора та похідна напруги у часі. Вихідними величинами прийняті затримка часу зміни напруги та уставка напруги

трансформатора. Для всіх змінних побудовані функції належності, а також складені нечіткі правила регулювання.

Розглянемо більш детально методи і засоби, що використані при розробці верхнього рівня АСКН. Для забезпечення раціональних втрат потужності в розподільній мережі величина напруги повинна прийматися на верхній межі допустимого значення напруги ($1,1 U_n$). Цехові трансформатори (ЦТ) знаходяться на різній електричній віддаленості від трансформатора ГПП, що обумовлює відмінності в рівнях напруги для різних ЦТ. Рівні напруг на стороні високої напруги ЦТ змінюються залежно від навантаження трансформаторів і рівня напруги на стороні ВН трансформатора ГПП (режим максимального і мінімального навантаження енергосистеми). Для забезпечення умов роботи САРН нижнього рівня при зміні навантаження і раціональних втрат енергії в розподільній мережі 10 (6) кВ необхідно підтримувати задані рівні напруг на шинах електрично найближчої та віддаленої ЦТ.

Побудова і розрахунок моделей електричних мереж 10 (6) кВ. Суть методу полягає в тому, що для центра живлення (ГПП) аналізуються параметри розподільчої мережі (конфігурація, протяжність і перетин ліній, кількість і потужності трансформаторів, $\cos\phi$ та ін.), на основі яких будуються розрахункові моделі електричних мереж.

Розрахунок робочих режимів розподільних мереж промислових підприємств більш простий, ніж районних. Розподільна мережа має невелику протяжність. У лініях місцевих мереж активні та індуктивні опори або приблизно однакові, або активні опори перевищують індуктивні. При цьому поперечна складова вектора падіння напруги дуже мала і її не враховують, в зв'язку з чим режими роботи цих мереж характеризуються майже повним збігом напруг у вузлах по фазі і порівняно невеликою відмінністю від номінальної напруги мережі. Схеми заміщення цих ліній складаються з поздовжніх елементів — активного та індуктивного опорів. У місцевих мережах, крім того, не враховується вплив втрат потужності на її втрати в наступних ланках.

Напруга в усіх точках лінії місцевої мережі приймається рівною номінальному значенню. Навантаження на будь-якій ділянці такої мережі визначається підсумовуванням навантаження цієї ділянки з навантаженнями попередніх ділянок:

$$\underline{S}_i = \sum_{i \max/2}^l \underline{S}_i . \quad (1)$$

Напруга у вузлових точках розподільної мережі розраховується за даними початку лінії з використанням такої формули:

$$U_i = U_{\text{ном}} - \frac{1}{U_{\text{ном}}} \sum_{i=1}^n (P_i R_i + Q_i X_i) . \quad (2)$$

Неврахування втрат потужності у місцевих мережах дає змогу розраховувати максимальні втрати напруги за даними навантаження ($s_1, s_2, \dots, s_n$) або потужностями, які перетікають по ділянкам. Сумарні втрати напруги в

лінії до будь-якого вузла i визначаються сумою втрат напруги на кожній ділянці, яка визначається формулою:

$$\Delta U_{0i} = \frac{1}{U_{\text{ном}}} \sum_{i=1}^n (P_i R_i + Q_i X_i) = \sqrt{3} \left(\sum_{i=1} I_{ai} R_i + \sum_{i=1} I_{pi} X_i \right). \quad (3)$$

Враховуючи ймовірнісний характер параметрів, що описують стан навантаження і ліній живлення, для синтезу алгоритмів регулювання напруги на трансформаторі ГПП використовуємо метод теорії нечіткої логіки (Fuzzy технології).

Алгоритм нечіткого регулювання. У разі регулювання напруги трансформатора ГПП як нечіткий алгоритм був обраний алгоритм Мамдані, що пояснюється декількома факторами:

1. Простота програмування. Алгоритм Мамдані найбільш простий і зрозумілий для програмування.

2. Кількість змінних, необхідних для роботи контролера (див. нижче), була вибрана рівною п'яти. Кількість значень цих змінних може досягати 17. За цими значеннями можливе створення до 270 правил нечіткого висновку, що можна вважати надмірно великим.

3. При програмуванні алгоритму не настільки важлива точність виведення, скільки наочність і «зрозумілість» усіх складових алгоритму. Алгоритм Мамдані задовольняє цю вимогу.

Математично алгоритм Мамдані описується такою послідовністю кроків:

- приведення до нечіткості (фазифікація): знаходиться ступінь істинності для передумов кожного правила;
- нечіткий висновок: знаходяться рівні «відсікання» для передумов кожного з правил, потім знаходяться усічені функції приналежності;
- композиція: проводиться об'єднання знайдених усічених функцій, що призводить до отримання підсумкової нечіткої підмножини для вихідної змінної з функцією приналежності;
- приведення до чіткості (дефазифікація).

Цей алгоритм є найбільш часто вживаним на практиці, тому що дуже добре себе зарекомендував у ряді завдань управління в режимі реального часу.

Застосування нечіткої логіки в задачах мікропроцесорного керування. У загальному випадку інформація проходить три стадії обробки:

- перетворення вхідної фізичної змінної в нечітку множину — процедура фазифікації;
- логічна обробка нечітких змінних (композиція, імплікація) бази правил контролера, отримання локального і загального виведення з бази правил у вигляді нечіткої множини;
- перетворення нечіткої множини в фізичну змінну — процедура дефазифікації.

Структура FUZZY регулятора РПН трансформатора ГПП складається з блоку вхідних величин, до яких відносяться напруги на найбільш віддаленому та найбільш наближеному приєднанні, поточне відгалуження РПН трансформатора та кількість спрацювань РПН з початку доби; Fuzzy контро-

лера за алгоритмом Мамдані і блок вихідних величин, до яких відносяться напрям переміщення РПН та затримка часу спрацювання РПН.

При роботі за алгоритмом Мамдані для регулювання напруги трансформатора ГПП на вхід нечіткого контролера подавалися: напруга на шинах ВН ЦТ, яка є електрично найближчою до ГПП, напруга на шинах ВН ЦТ, яка є електрично найбільш віддаленою від ГПП, значення поточної відпайки трансформатора ГПП; кількість перемикачів регулятора під навантаженням (РПН) з початку поточної доби. З виходу нечіткого регулятора знімалися: напрям переміщення регулятора РПН (збільшити або зменшити кількість витків обмотки ВН) та час, за який має бути закінчене перемикачання відпайок.

Усі вхідні і вихідні величини є чіткими значеннями, оскільки знімаються з реальних приладів автоматики і телекерування. Далі, в самому контролері, ці величини вже перетворюються у нечіткі значення. Після опрацювання нечітких правил отримані вихідні змінні знову перетворюються до точного (нормального) виду.

У процесі дослідження були випробувані різні варіанти роботи контролера. Перевірялася доцільність застосування тих чи інших лінгвістичних змінних, зокрема «Кількість» (кількість перемикачів за день).

За вищенаведеним змінним для даної системи було складено 106 правил нечіткого виводу згідно з такими твердженнями:

1. Залежність часу перемикачання (змінна «затримка») вибиралася, враховуючи той факт, що у випадку, коли «напруга» найближчого чи найвіддаленішого ЦТ сильно відрізняється від «нормальної» («дуже низька» або «дуже висока») «затримка» повинна бути «коротка» або «дуже коротка». Якщо «напруга» близька до «нормальної», тоді «затримка» буде великою («довга» або «дуже довга»).

Якщо напруга дорівнює номінальній, тоді час перемикачання дуже довгий, а напрямок перемикачання — «Стоп».

2. Правила визначення значення нечіткої вихідної змінної «напрямок» визначалися таким чином: при напрузі, нижчій за номінальну («дуже низька», «низька»), напрямок перемикачання РПН повинен відповідати значенню «вниз». А при підвищеній напрузі («висока», «дуже висока») напрямок перемикачання РПН приймає значення «вгору». У тих випадках, коли напруга приблизно дорівнює номінальній («нормальне»), РПН не спрацьовує («Стоп»).

3. Окремо було розглянуто дії контролера при аварійних ситуаціях (при коротких замиканнях). У цих випадках необхідно заблокувати роботу РПН. У таких ситуаціях лінгвістична змінна «напруга» набуває значення «аварійне», і з виходу контролера знімається сигнал «Стоп».

4. Оскільки надійність роботи РПН залежить від кількості зроблених перемикачів, то для регулювання була використана відповідна змінна «кількість». У процесі роботи контролер обчислює кількість зроблених перемикачів за добу. Якщо кількість перемикачів «мало», тоді час перемикачання не змінюється. Якщо ж кількість перемикачів велика («не мало»), тоді і затримка перед перемикачанням теж збільшується.

Як об'єкт дослідження в середовищі Simulink була створена комп'ютерна модель підстанції 120/20 кВ, до шин якої підключена нелінійне динамічне навантаження. Структурна схема системи, що моделюється, представлена на рис. 2.

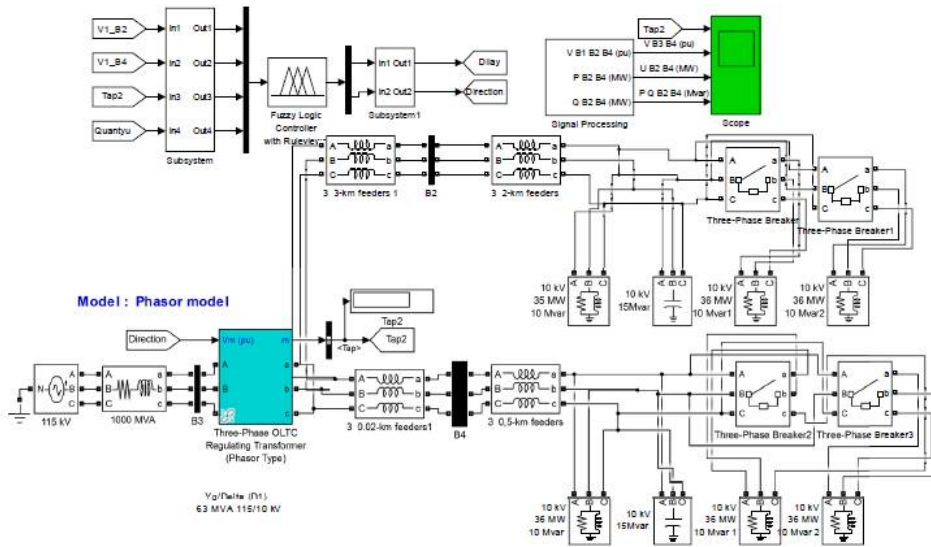


Рис. 2. Модель підстанції 110/10 кВ з нечітким контролером і РПН: Source 110 kV — блок, що описує систему живлення 110 кВ; Transformer — блок, що описує модель трифазного силового трансформатора 35 / 6 кВ; Line — блоки, що задають параметри повітряної лінії; V-I measurement — блок вимірювання діючих значень струму і напруги; Dynamic load — блоки, що моделюють трифазне динамічне навантаження; Power demand — блоки, що мають завдання зміни споживаної потужності для блоків динамічного навантаження; Fuzzy-logic controller — блок нечіткого контролера; On-load regulator — блоки регулювання напруги силового трансформатора під навантаженням

У процесі дослідження на моделі були отримані графіки зміни напруги залежно від навантаження в часі.

Реалізація запропонованого алгоритму регулювання напруги на основі нечітких множин дає змогу підтримувати раціональні рівні напруги в розподільній мережі, які отримані на основі аналізу й оптимізації режимів електричної розподільної мережі, що забезпечить раціональний рівень втрат електричної енергії.

Висновки

1. Використання дворівневої системи керування напругою на промисловому підприємстві дає змогу реалізувати принцип декомпозиції і вирішувати завдання керування напругою окремо на рівні трансформатора ГПП і цехових трансформаторів. Координація роботи систем окремих рівнів надає можливість підвищити якість керування та забезпечити енергоефективні режими передавання електричної енергії.

2. Для розробки алгоритмів ефективного керування напругою й оптимізації режимів роботи електричних мереж необхідно створити математичні моделі різних ієрархічних рівнів системи електропостачання.

3. В умовах невизначеності інформації щодо режимних параметрів системи електропостачання алгоритми керування напруги цехового трансформатора і трансформатора ГПП доцільно проводити на основі нечіткої логіки.

Література

1. *Абрамович Б.Н.* Устройство управления режимом напряжения в электрических сетях предприятий сырьевого комплекса / Б.Н. Абрамович, Д.М. Тарасов, А.П. Шевчук // Записки Горного института. — 2012. — Том 196. — С. 214—217.
2. *Гусаров В.А.* Автоматизация централизованного регулирования напряжения с использованием интегрированной АСУ энергоресурсами / В.А. Гусаров // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. — 2009. — № 3. — С.121—126.
3. *Грабко В.В.* Синтез структуры блока принятия решения ісрархічної системи регулювання напруги / В.В. Грабко, І.Ю. Львов // Проблемы создания новых машин и технологий. Научные труды КГПУ. Вып. 2/2000 (9). — Кременчуг : КГПУ, 2000. — С. 65—68.
4. *Манусов В.З.* Сравнение алгоритмов регулирования, основанных на четкой логике и нечеткой логике на примере работы электротехнической установки / В.З. Манусов, А.В. Мятаж // Энергетика: экология, надежность, безопасность. Материалы докладов XIII Всероссийской научно-технической конференции. Томск, 5—7 декабря, 2007. — Томск : изд-во ТПУ, 2007. — С. 47—50.
5. *Hany E.Z. Farag, Ehab F. El-Saadany* A Novel Cooperative Protocol for Distributed Voltage Control in Active Distribution Systems // IEEE Trans. Power Systems. — 2013. — Vol. 28, # 2. — P. 1645—1656.
6. *Балюта С.М.* Управління напругою в системі електропостачання промислового підприємства / С.М. Балюта, Л.О.Копилова, Є.О.Корольов // Цукор України. — 2016. — № 3 (123). — С. 20—25.
7. *Штовба С.Д.* Проектирование нечётких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба. — Москва : Горячая Линия — Телком, 2007. — 370 с.

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЕМ С НЕЧЕТКИМИ РЕГУЛЯТОРАМИ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

С.Н. Балюта, В.Д. Йовбак, Л.А. Копылова, Е.А. Королев

Национальный университет пищевых технологий

Проблема управления напряжением в целях оптимизации потребления электрической энергии актуальна для промышленности, так как позволяет уменьшить энергоёмкость продукции, выпускаемой предприятиями отрасли. В статье представлена двухуровневая система регулирования напряжения в электрической сети промышленного предприятия, где нижний уровень — это цеховые трансформаторы с ПБВ с электронным коммутатором, а верхний — трансформатор ГПП с РПН. Для управления используется трехуровневая информационная система. Для контроллеров верхнего и нижнего уровней регулирования разработаны алгоритмы управления на основе нечеткой логики, которые обеспечивают информационные, точностные, временные, стоимостные и другие характеристики эффективности функционирования системы управления напряжением.

Ключевые слова: управление напряжением, нечеткая логика, система электроснабжения промышленного предприятия, оптимизация электропотребления, регулирование напряжения трансформатора.

METHODS OF THE HEAT CONDUCTION PROBLEMS SOLUTION BY MEANS OF TRANSITION TO THE CORRESPONDING DIFFERENCE EQUATIONS ON THE SEMIAXIS

V. Romanenko

National University of Food Technologies

Key words:	ABSTRACT
<i>Linear difference equation</i>	Sufficient conditions for the approximation to the restricted solution of the linear difference equation in the Banach space with unrestricted operator coefficients solutions of the corresponding Cauchy problems were obtained. The speed of the approximations was estimated. The application to the problems solution of the heat conduction of the previously obtained results for the linear difference equations with unrestricted operator coefficient and one initial condition is considered in the article. In addition, it was shown how the solution of the heat conduction equation can be accurately approximated to the solutions of the boundary value problems in which one end is fixed.
<i>Banach space</i>	
<i>Cauchy problem</i>	
<i>Optimization</i>	
Article history:	
Received 09.11.2016	
Received in revised form 30.11.2016	
Accepted 24.12.2016	
Corresponding author:	
V. Romanenko	
E-mail:	
npnuht@ukr.net	

МЕТОДИ РОЗВ'ЯЗКІВ ЗАДАЧ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ЗА ДОПОМОГОЮ ПЕРЕХОДУ ДО ВІДПОВІДНИХ РІЗНИЦЕВИХ РІВНЯНЬ НА ПІВОСІ

В.М. Романенко

Національний університет харчових технологій

У статті отримано достатні умови наближення обмеженого розв'язку лінійного різницевого рівняння в банаховому просторі з необмеженими операторними коефіцієнтами розв'язками відповідних задач Коші. Оцінено швидкість наближення. Розглянуто застосування до розв'язків задач теплопровідності попередньо одержаних результатів для лінійних різницевих рівнянь з необмеженим операторним коефіцієнтом та однією початковою умовою. Крім того, показано, як розв'язок рівняння теплопровідності можна з високою точністю наблизити розв'язками крайових задач, у яких один кінець фіксований.

Ключові слова: лінійне різницеве рівняння, банахів простір, задача Коші, оптимізація.

Постановка проблеми. Відомо, що диференціальні та різницеві рівняння адекватно описують поведінку багатьох реальних фізичних, соціальних, біологічних, економічних систем. При дослідженні таких рівнянь важливим є питання існування та єдиності обмежених розв'язків цих рівнянь. Але не завжди доцільно розв'язувати рівняння, часто потрібно знати лише скінченну кількість членів послідовності-розв'язку чи значення функції-розв'язку на скінченному відрізку, тому актуальним є завдання розв'язання відповідних крайових задач і дослідження зв'язку розв'язку крайової задачі та обмеженого на осі або півосі розв'язку диференціального чи різницевого рівняння.

Мета дослідження: показати можливість наближення обмеженого на півосі розв'язку рівняння теплопровідності, використовуючи перехід до різницевого аналогу, розв'язками відповідних різницевого крайових задач і знайти оцінку точності наближення.

Матеріали і методи. У дослідженні використовуються методи функціонального аналізу, методи теорії різницевого і диференціального рівнянь в абстрактних просторах, методи теорії операторнозначних функцій комплексної змінної. Необхідні відомості з функціонального аналізу (неперервність і диференційованість за нормою функцій у банаховому просторі; інтеграл Рімана від банаховозначних функцій; означення і властивості інтеграла від операторнозначної функції вздовж кривої; властивості аналітичних операторнозначних функцій; властивості замкненого оператора; операторне числення для обмеженого оператора) містяться, наприклад, в [1—4].

Позначення й допоміжні відомості. Нехай $\mathbf{B}$ — комплексний банахів простір з нормою $\|\cdot\|$ і нульовим елементом $\bar{0}$, $L(\mathbf{B})$ — банахів простір усіх лінійних обмежених операторів, що діють з $\mathbf{B}$ в $\mathbf{B}$, I — одиничний, O — нульовий оператор в $\mathbf{B}$.

Розглянемо $A: D(A) \rightarrow \mathbf{B}$ — замкнений оператор з областю визначення $D(A) \subset \mathbf{B}$. Відомо, що спектр замкненого оператора є замкненою множиною. На відміну від випадку, коли A — обмежений оператор, спектр може бути обмеженою множиною, необмеженою множиною, порожньою множиною або навіть всією площиною. В подальшому виключимо останню можливість, тобто будемо вважати резольвентну множину $\rho(A)$ непорожньою, більше того, нехай

$$\rho(A) \ni 0. \quad (1)$$

Внаслідок (1) існує обернений оператор до A , позначимо його, як завжди, A^{-1} . Оператор A^{-1} визначає взаємно-однозначне відображення $\mathbf{B}$ на $D(A)$, тоді:

$$\begin{aligned} AA^{-1}x &= x, \quad x \in \mathbf{B}; \\ A^{-1}Ax &= x, \quad x \in D(A). \end{aligned}$$

Операторне числення для A будується за допомогою оператора A^{-1} .

Нехай $K = \mathbb{C} \cup \{\infty\}$ — комплексна сфера з її звичайною топологією. Визначимо гомеоморфізм $\Phi : K \rightarrow K$ такими рівностями:

$$\mu = \Phi(\lambda) = \frac{1}{\lambda}, \quad \Phi(\infty) = 0, \quad \Phi(0) = \infty.$$

Теорема 1. Якщо відрізок $[-2; 2]$ міститься в резольвентній множині оператора A , то знайдуться такі залежні тільки від оператора A сталі $M > 0$, $R > 1$, що для довільної обмеженої в B послідовності $\{y(n) : n \in \mathbb{Z}\}$, відповідного їй єдиного розв'язку $\{x(n) : n \in \mathbb{Z}\}$ різницевого рівняння:

$$x(n+1) + x(n-1) = Ax(n) + y(n), \quad n \in \mathbb{Z}, \quad (2)$$

довільних $\{p, q\} \subset \mathbb{N}$ та відповідного набору $\{a, b, y(-p+1), \dots, y(q-1)\}$ єдиного розв'язку $\{u(n) : -p \leq n \leq q\}$ крайової різницевої задачі:

$$\begin{cases} u(n+1) + u(n-1) = Au(n) + y(n), & -p+1 \leq n \leq q-1, \\ u(-p) = a, \quad u(q) = b, \end{cases} \quad (3)$$

довільного натурального числа k , $1 \leq k \leq p+q-1$ справджується така нерівність:

$$\|x(-p+k) - u(-p+k)\| \leq M \left(\frac{\|x(q) - b\|}{R^{p+q-k}} + \frac{\|x(-p) - a\|}{R^k} \right).$$

Розглянемо лінійне різницеве рівняння другого порядку на півосі:

$$x(n+1) + x(n-1) = Ax(n) + y(n), \quad n \geq 0. \quad (4)$$

У [6] наведені необхідні і достатні умови розв'язності лінійних різницевих рівнянь довільного порядку на півосі з обмеженим операторним коефіцієнтом. У застосуванні до рівняння (4) для обмежених операторних коефіцієнтів з тверджень у [6] випливає необхідна й достатня умова існування та єдиності обмеженого розв'язку $\{x(n) : n \geq -1\}$ рівняння (4) для довільної обмеженої послідовності $\{y(n) : n \geq 0\}$.

У [7] було доведено достатні умови існування і єдиності розв'язку рівняння (4) із заданим значенням $x(-1)$.

Теорема 3. Нехай спектр оператора A не перетинається з відрізком $[-2; 2]$. Тоді для довільної обмеженої послідовності $\{y(n) : n \geq 0\}$ і для довільного значення $c \in B$ існує єдиний обмежений розв'язок $\{x(n) : n \geq -1\}$ крайової задачі з частиною початкових умов:

$$\begin{cases} x(n+1) + x(n-1) = Ax(n) + y(n), & n \geq 0, \\ x(-1) = c. \end{cases} \quad (5)$$

У наступній теоремі [7] показано, що розв'язки розглянутих крайових задач апроксимують розв'язок на півосі, та наведено оцінку точності апроксимації.

Теорема 4. Нехай спектр оператора A не перетинається з відрізком $[-2; 2]$ і $\{x(n): n \geq -1\}$ — розв'язок рівняння (4). Тоді для будь-яких елементів a, b банахового простору $\mathbf{B}$ і кожного натурального числа q єдиний розв'язок крайової задачі:

$$\begin{cases} u(n+1) + u(n-1) = Au(n) + y(n), & 0 \leq n \leq q-1, \\ u(-1) = a, \quad u(q) = b \end{cases}$$

задовольняє такі нерівності:

$$\|x(n) - u(n)\| \leq M \left(\frac{\|x(q) - b\|}{R^{q-n}} + \frac{\|x(-1) - a\|}{R^{n+1}} \right), \quad 0 \leq n \leq q-1.$$

Виклад основних результатів дослідження. Розглянемо при $\varepsilon > 0$ різницево-диференціальне рівняння теплопровідності:

$$\frac{\partial z}{\partial t}(t, s) = \frac{\partial^2 z}{\partial s^2}(t, s) - \varepsilon z(t, s) + f(t, s), \quad s \in [0; 2\pi], \quad t \geq 0$$

з крайовою умовою

$$z(0, s) = c(s), \quad s \in [0; 2\pi],$$

де $\tau > 0$ — крок дискретизації.

Розглянуте рівняння має різницево-диференціальний аналог рівняння відносно комплекснозначних функцій:

$$\begin{aligned} \frac{z(n+1, s) - z(n-1, s)}{2\tau} = \\ = \frac{\partial^2 z}{\partial s^2}(n, s) - \varepsilon z(n, s) + f(n, s), \quad s \in [0; 2\pi], \quad n \in \mathbf{N} \end{aligned}$$

з крайовою умовою

$$z(0, s) = c(s), \quad s \in [0; 2\pi],$$

де $c \in L_2([0; 2\pi])$, $f(n, \cdot) \in L_2([0; 2\pi])$, $n \in \mathbf{Z}$ — відомі функції.

Припустимо, що $\mathbf{B} = L_2([0; 2\pi])$, і перепишемо наше рівняння у вигляді (4), позначивши

$$x(n-1)(s) := i^n z(n, s), \quad n \in \mathbf{N}, \quad s \in [0; 2\pi];$$

$$(Au)(s) = 2\tau i \frac{\partial^2 u}{\partial s^2}(s) - 2\tau \varepsilon i u(s), \quad s \in [0; 2\pi];$$

$$y(n-1)(s) := i^{n+1} f(n, s), \quad s \in [0; 2\pi], \quad n \in \mathbf{N}.$$

Спектр оператора A є зсуненим і домноженим на сталу спектром оператора другої похідної в $L_2([0; 2\pi])$ і, як можна показати безпосередньо, рівний

$$\sigma(A) = \{iz \mid z \in (-\infty, -2\tau\varepsilon]\}.$$

Застосуємо теорему 4. Умова $\sigma(A) \cap [-2; 2] = \emptyset$ виконується, бо спектр оператора A лежить на уявній осі на додатній відстані від початку координат. Згідно з теоремою, існують такі сталі $M_1 > 0$, $R_1 > 1$ для довільної послідовності визначених на $[0; 2\pi]$ вимірних функцій $\{y(n) : n \geq 0\}$, що задовольняє таку умову:

$$\sup_{k \in \mathbf{Z}} \int_0^{2\pi} |y(k, s)|^2 ds < +\infty,$$

довільної початкової функції $c \in L_2([0; 2\pi])$, відповідного єдиного обмеженого розв'язку $\{x(n) : n \geq 0\} \subset L_2([0; 2\pi])$ різницевого рівняння (4), довільного $q \in \mathbf{N}$ та відповідного набору

$$\{a, b, y(0), \dots, y(q-1)\} \subset L_2([0; 2\pi])$$

єдиного розв'язку $\{u(n) : -1 \leq n \leq q\} \subset L_2([0; 2\pi])$ крайової різницевої задачі з умови теореми 4, довільного n , $0 \leq n \leq q-1$, справджується така нерівність:

$$\begin{aligned} & \sqrt{\int_0^{2\pi} |x(n, t) - u(n, t)|^2 dt} \leq \\ & \leq M_1 \left(\frac{1}{R_1^{q-n}} \sqrt{\int_0^{2\pi} |x(q, t) - b(t)|^2 dt} + \frac{1}{R_1^n} \sqrt{\int_0^{2\pi} |x(-1, t) - a(t)|^2 dt} \right). \end{aligned}$$

З теореми 3 за теоремою Банаха про обернений оператор випливає, що існує така стала $M_2 > 0$, що

$$\sup_{n \geq 0} \sqrt{\int_0^{2\pi} |x(n, t)|^2 dt} \leq M_2 \left(\sup_{n \geq 0} \sqrt{\int_0^{2\pi} |y(n, t)|^2 dt} + \sqrt{\int_0^{2\pi} |c(t)|^2 dt} \right)$$

З останніх двох нерівностей випливає, що

$$\begin{aligned} & \sqrt{\int_0^{2\pi} |x(n,t) - u(n,t)|^2 dt} \leq \\ & \leq M_1 M_2 \left(\frac{1}{R_1^{q-n}} \left(\sqrt{\int_0^{2\pi} |b(t)|^2 dt} + \sqrt{\int_0^{2\pi} |c(t)|^2 dt} + \sup_{k \geq 0} \sqrt{\int_0^{2\pi} |y(k,t)|^2 dt} \right) + \right. \\ & \left. + \frac{1}{R_1^n} \left(\sqrt{\int_0^{2\pi} |b(t)|^2 dt} + \sqrt{\int_0^{2\pi} |c(t)|^2 dt} + \sup_{k \geq 0} \sqrt{\int_0^{2\pi} |y(k,t)|^2 dt} \right) \right). \end{aligned}$$

Звідси випливає, що існують такі сталі $M > 0$, $R > 1$, що за тих же умов виконується така нерівність:

$$\begin{aligned} & \int_0^{2\pi} |x(n,t) - u(n,t)|^2 dt \leq \\ & \leq M \left(\frac{1}{R^{q-n}} \left(\int_0^{2\pi} |b(t)|^2 dt + \int_0^{2\pi} |c(t)|^2 dt + \sup_{k \geq 0} \int_0^{2\pi} |y(k,t)|^2 dt \right) + \right. \\ & \left. + \frac{1}{R^n} \left(\int_0^{2\pi} |a(t)|^2 dt + \int_0^{2\pi} |c(t)|^2 dt + \sup_{k \geq 0} \int_0^{2\pi} |y(k,t)|^2 dt \right) \right). \end{aligned}$$

Висновки

Таким чином, при довільних функціях $a, b, c \in L_2([0; 2\pi])$, які за нормою не перевищують норми $y(k)$ при k , точність наближення на певному відрізку всередині $[0, q]$, що знаходився на достатньо великій відстані l від його країв, буде обернено пропорційна величині $\sup_{k \geq 0} \int_0^{2\pi} |y(k,t)|^2 dt$ і прямо пропорційна R^l . Збільшуючи q , можна отримати наближення з великою точністю значень функції при великих значеннях аргумента.

Література

1. Дороговцев А.Я. Ограниченные и периодические решения операторного уравнения Риккати с неограниченным оператором / А.Я. Дороговцев, Т.А. Петрова // Диффер. уравнения. — 1997. — Т. 33, № 3. — С. 309—315.
2. Рисс Ф. Лекции по функциональному анализу / Ф. Рисс, Б. Секефальви-Надь. — Москва: Мир, 1976. — 587 с.
3. Березанский Ю.М. Функциональный анализ. Курс лекций / Ю.М. Березанский, Г.Ф. Ус, З.Г. Шефтель. — Киев: Вища шк., 1990. — 600 с.
4. Данфорд Н. Линейные операторы. Общая теория / Н. Данфорд, Дж. Т. Шварц. — Москва: Изд-во иностр. лит., 1962. — 896 с.
5. Городній М.Ф. Апроксимація обмеженого розв'язку одного різницевого рівняння з необмеженим операторним коефіцієнтом розв'язками відповідних крайових задач / М.Ф. Городній, В.М. Романенко // Укр. мат. журн. — 2000. — Т. 52, № 4. — С. 548—552.

6. Городній М.Ф. Обмежені розв'язки двопараметричного різницевого рівняння у банаховому просторі / М.Ф. Городній, О.А. Лагода // Укр. мат. журн. — 2000. — Т. 52, № 12. — С. 1610—1614.

7. Романенко В.М. Наближення обмежених розв'язків різницевого рівняння на півосі розв'язками відповідних задач Коші / В.М. Романенко // Вісник Київського університету, серія фізико-математичні науки. — 2009. — Вип.3. — С. 41—43.

МЕТОДЫ РЕШЕНИЙ ЗАДАЧ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ С ПОМОЩЬЮ ПЕРЕХОДА К СООТВЕТСТВУЮЩИМ РАЗНОСТНЫМ УРАВНЕНИЯМ НА ПОЛУОСИ

В.Н. Романенко

Национальный университет пищевых технологий

В статье получены достаточные условия приближения ограниченного решения линейного разностного уравнения в банаховом пространстве с неограниченными операторными коэффициентами решениями соответствующих задач Коши. Оценена скорость приближения. Рассматривается применение к решениям задач теплопроводности предварительно полученных результатов для линейных разностных уравнений с неограниченным операторным коэффициентом и одним начальным условием. Кроме того, в исследовании показано, как с высокой точностью приблизить решение уравнения теплопроводности с помощью решения краевых задач, в которых один конец фиксирован.

Ключевые слова: *линейное разностное уравнение, банахово пространство, задача Коши, оптимизация.*

УДК 641.523

IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF STEAM GENERATORS OF LOW AND MEDIUM POWER BOILER EQUIPMENT OF MEAT PROCESSING PLANTS

V. Pavelko, S. Hlynianyi

National University of Food Technologies

Key words:	ABSTRACT
<i>Modernization Efficiency Economizer Air heater</i>	In the article substantiates the expediency of modernization of steam generators of small and medium power, which are used in most industrial boilers of meat processing enterprises in Ukraine. The design and principles of operation of the economizer and air heater for steam generator of DE-25/14 type are presented in this paper. The results of the feasibility of calculating the efficiency of the reconstruction of the tail part of the steam generator DE-25/14 under service conditions in CHP plants (industrial boilers) of meat processing enterprises are displayed.
Article history: Received 04.11.2016 Received in revised form 25.11.2016 Accepted 20.12.2016	
Corresponding author: V. Pavelko E-mail: npnuht@ukr.net	

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПАРОГЕНЕРАТОРІВ МАЛОЇ І СЕРЕДНЬОЇ ПОТУЖНОСТІ В КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВКАХ М'ЯСОПЕРЕРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ

В.І. Павелко, С.І. Глиняний

Національний університет харчових технологій

У статті обґрунтовано доцільність модернізації парогенераторів малої та середньої потужності, якими оснащені промислові котельні більшості м'ясопереробних підприємств України. Описано конструкцію та принцип роботи економайзера-повітропідігрівника для парогенератора типу ДЕ-25/14. Наведено результати техніко-економічного розрахунку ефективності реконструкції хвостової частини парогенератора ДЕ-25/14 в умовах експлуатації його в ТЕЦ (промислових котельнях) м'ясопереробних підприємств.

Ключові слова: модернізація, ефективність, економайзер, повітропідігрівник.

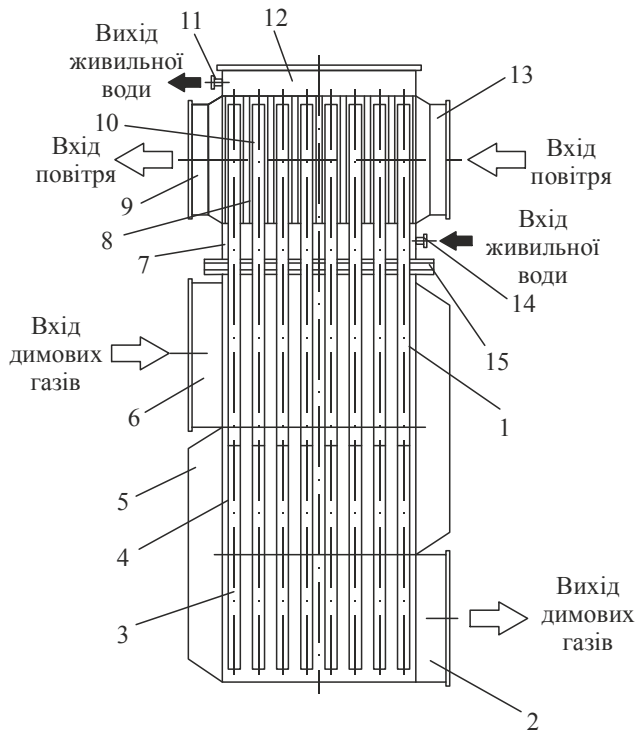
Постановка проблеми. Переважна більшість промислових котелень м'ясопереробних підприємств України оснащена парогенераторами малої та середньої потужності типу ДЕ-25/14, ДКВР-4(6,5)/13 та їх аналогами, які були впроваджені в промисловості щонайменше 30—35 років тому. Тоді, через низькі ціни на первинні енергоносії, насамперед на природний газ, питання енергозбереження не було пріоритетним, а про підвищення енергоефективності теплоенергетичного обладнання навіть не йшлося. Сьогодні, в умовах стрімкого підвищення цін на енергоносії, постало питання значного зменшення споживання, передусім природного газу, і підвищення енергетичної ефективності всіх галузей промисловості, в тому числі і м'ясопереробної, де споживання енергоносіїв є значним [1].

Мета статті: розробити методику теплового розрахунку термосифонного економайзера-повітропідігрівника, особливістю якої є необхідність визначення температури проміжного теплоносія і коефіцієнтів тепловіддачі при кипінні та конденсації в порожнині термосифонів, а також здійснити перевірку термосифонів на критичні теплові навантаження.

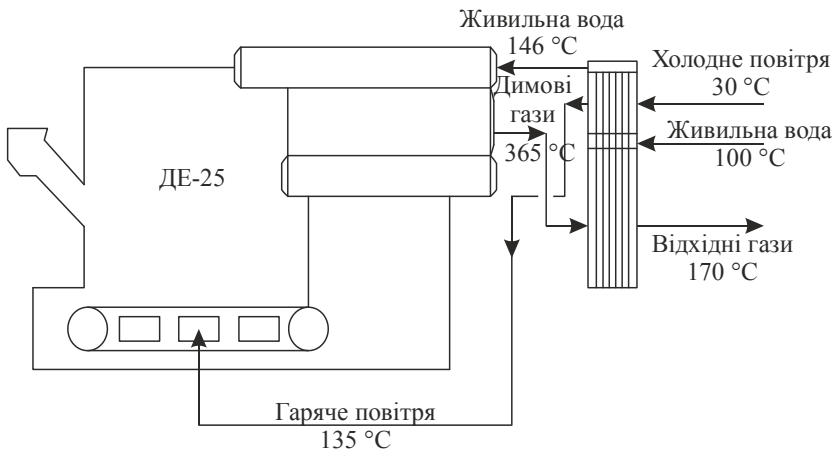
Матеріали і методи. Підвищення енергоефективності теплоенергетичного обладнання можна здійснити або заміною неекономічного (морально і фізично застарілого) обладнання на сучасне, або модернізацією існуючого обладнання шляхом впровадження енергозберігаючих технологій, зокрема установки сучасних вискооефективних теплоутилізаторів викидних потоків теплоти. Оскільки грошові витрати на перший варіант в порівнянні з другим є значно більшим і, очевидно, що в більшості випадків такий варіант не є прийнятним і можливим в умовах сьогодення, вважаємо, що на пріоритет заслуговує другий варіант. Нижче наводимо приклад розробленого нами варіанта реконструкції хвостової частини парогенератора типу ДЕ-25/14 і результати техніко-економічного розрахунку ефективності впровадження енергозберігаючої технології.

На рис. 1 представлені схема установки термосифонного теплообмінника (економайзера-повітропідігрівника) у хвостовій частині парогенератора ДЕ-25/14 та компоновальна схема котла ДЕ-25 з термосифонним економайзером-повітропідігрівником для остаточного підігрівання повітря.

Термосифонний економайзер-повітропідігрівник працює таким чином: димові гази котельного агрегата омивають зони кипіння 4 термосифонів 1 у газоході 5, передаючи теплоту проміжному теплоносію 3, що кипить усередині. Пара надходить до зони конденсації 10 термосифонів, де конденсується, а теплота конденсації передається живильній воді, що проходить у кільцевих каналах усередині вертикальних труб 8. Частина теплоти від живильної води передається повітрю, що омиває вертикальні труби 8 зовні. При цьому відсутній безпосередній контакт стінки труб, які омиваються холодним повітрям, з димовими газами, що виключає можливість виникнення їх низькотемпературної корозії. Крім того, передача теплоти від димових газів до живильної води здійснюється за допомогою проміжного теплоносія, що дозволяє підвищити температуру стінки термосифона та знизити інтенсивність її руйнування через низькотемпературну корозію.



а)



б)

Рис. 1. Схема установки термосифонного теплообмінника: а) схема установки термосифонного теплообмінника (економізатора-повітропідігрівника) у хвостовій частині парогенератора ДЕ-25/14; б) компоновальна схема котла ДЕ-25 з термосифонним економізатором-повітропідігрівником для остаточного підігрівання повітря

Розроблений термосифонний економізатор-повітропідігрівник відрізняється від традиційних конструкцій надійністю роботи завдяки:

- автономності роботи кожного термосифона, які не зв'язані між собою, а отже, руйнування стінки термосифона — це лише часткова відмова, яка не призводить до повної відмови пристрою;

- відсутності згинів труб, де найчастіше відбувається інтенсивний знос їх стінок, що не тільки підвищує надійність конструкції пристрою, але й зменшує трудомісткість його виготовлення;

- відсутності безпосереднього контакту стінки труб, які омиваються холодним повітрям, з димовими газами, що виключає можливість виникнення її низькотемпературної корозії;

- застосуванню проміжного теплоносія, що дозволяє підвищити температуру стінки термосифона та знизити інтенсивність її корозійного руйнування внаслідок низькотемпературної корозії;

- встановленню термосифонів у трубній дощці за допомогою роз'ємних з'єднань, що дозволяє легко виконувати їх заміну;

- консольного в одній точці кріплення термосифонів у трубній дощці, що дає змогу виключити термічні напруження внаслідок їх температурних розширень.

Крім того, забезпечується зменшення масогабаритних показників за рахунок об'єднання в одному пристрої двох функцій: підігрівання повітря і живильної води та можливості застосування оребрених поверхонь нагріву, а також підвищення ККД котла внаслідок виключення присосів повітря до газоходу.

Термосифонний економайзер-повітропідігрівник може бути використаний для підігрівання повітря як остаточного, так і попереднього для захисту основного повітропідігрівника (замість парового калорифера) та живильної води в котельних агрегатах малої потужності.

Тепловий розрахунок термосифонного економайзера-повітропідігрівника виконується як конструктивний з метою визначення його поверхонь нагріву в зонах кипіння та конденсації термосифонів, а також поверхні для нагріву повітря, що забезпечують зниження температури димових газів до прийнятої при складанні теплового балансу котла. Вибираються тип пучка, діаметр термосифонів, довжини зон кипіння та конденсації, кількість термосифонів у ряді та кількість рядів, поперечний і поздовжній кроки. При цьому швидкість димових газів має знаходитися у межах 6...8 м/с, а при спалюванні багатозольних палив для запобігання занесенню золою поверхні нагріву швидкість газів слід підвищити до 9...10 м/с. Рекомендується вибирати шаховий пучок при спалюванні газоподібного палива, а коридорний — для мазуту та багатозольних твердих палив для забезпечення можливості ефективного очищення. Правильність компонування поверхонь нагріву перевіряється аеродинамічним розрахунком термосифонного економайзера-повітропідігрівника: опір пучка термосифонів у зоні кипіння не має перевищувати 400 Па, а поверхні для нагріву повітря 300 Па.

Довжина термосифонів розробленого економайзера-повітропідігрівника складає 5 м: зони кипіння термосифонів 3,6 м, зони конденсації 1,4 м, а відношення довжини термосифонів до їх діаметра $l/d = 156$. З метою перевірки працездатності й теплової ефективності термосифонів великої довжини з $l/d > 100$ в режимних умовах, характерних для низькотемпературних повер-

хонь нагріву котлів малої потужності (максимальна температура димових газів 420 °С), виконані експериментальні дослідження. Робоча ділянка термосифона виготовлена з труби діаметром 32×2 мм (матеріал ст. 20) з декількох частин довжиною 2 м кожна, з'єднаних між собою, що дозволяло змінювати її довжину від 2 до 6 м. При цьому довжина зони конденсації складала 1,3 м. Термосифон сприймав теплоту від гарячого повітря, температура якого змінювалася від 150 до 420 °С, а швидкість — від 8 до 10 м/с. Конденсаційна зона термосифона охолоджувалася водою, швидкість якої була в межах 0,3...0,5 м/с, а температура 10...60 °С. Ступінь заповнення термосифонів складав 25%. Отримано результати досліджень у вигляді залежності теплової потужності, що передається термосифоном, від температури повітря на вході для різних режимів охолодження зони конденсації (температур води *tв*). Аналіз результатів показав, що в досліджуваному інтервалі геометричних і режимних параметрів термосифони зберігають працездатність, а їх теплова потужність змінюється від 1,4 до 5,9 кВт.

Результати і обговорення. В табл. 1 наведені вихідні дані і деякі результати теплового розрахунку термосифонного економайзера-повітропідігрівника.

Таблиця 1. Результати теплового розрахунку термосифонного економайзера-повітропідігрівника для котельного агрегата ДЕ-25

Параметр	Числове значення
1	2
Температура живильної води, °С	100
Температура води за економайзером, °С	146
Температура холодного повітря, °С	30
Температура гарячого повітря, °С	135
Температура газів на вході, °С	365
Температура відхідних газів, °С	170
Середня температура прохідного теплоносія, °С	137,0
Теплова потужність, кВт:	
- сумарна	2242
- економайзера	1374
- повітропідігрівника	868
Загальна кількість термосифонів	484
Крок труб, м:	
- поперечний	0,077
- повздовжній	0,077
Зовнішній діаметр, м:	
- термосифонів	0,032
- труб повітропідігрівника	0,042
Довжина, м:	
- зони кипіння термосифонів	3,6
- зони конденсації термосифонів	1,4
- повітропідігрівника	1,6
Параметри оребрення термосифонів, м:	
- висота ребер	0,012
- крок ребер	0,005
- товщина ребер	0,001

Продовження табл. 1.

1	2
Коефіцієнт оребрення: - термосифонів - повітропідігрівника	 3,85 8,05
Площа поверхні нагріву, м ² : - зони кипіння термосифонів - зони конденсації термосифонів - повітропідігрівника	 569,3 68,1 697,9
Кількість ходів: - димових газів - повітря	 2 1
Аеродинамічний опір, Па: - з боку димових газів - з боку повітря	 335 275
Маса без проміжного теплоносія, кг	13082
Маса з проміжним теплоносієм, кг	13429

Метою проведення техніко-економічного розрахунку було визначення економічної доцільності реконструкції хвостової частини парогенератора ДЕ-25/14 шляхом порівняння вигод, що очікуються (реальні грошові потоки) з витратами, які є загальною сумою інвестиційних витрат, необхідних для реалізації проекту.

Основою визначення вигод від реконструкції є економія палива (природного газу), яка, як показують наші розрахунки, становить 40 тис. м³ на рік. У вартісному вираженні це буде складати 272 760 грн на рік, де 6 819 — вартість 1000 м³ газу, прийнята в розрахунках. Результати розрахунків загальної суми інвестиційних витрат, а також розрахунку оціночних показників, індексів дохідності та рентабельності проекту зведені в табл. 2.

Таблиця 2. Показники ефективності проекту

Показник	Одиниця виміру	Значення
Загальна сума інвестицій	тис. грн	2175
ЧГП	тис. грн	2437
Чистий приведений дохід	тис. грн	3461,7
Індекс дохідності	—	2,51
Індекс рентабельності	—	0,792
Недисконтований період повернення інвестицій	роки	1,07
Дисконтований період повернення інвестицій	роки	1,99

Висновки

1. Доведена ефективність реконструкції хвостової частини парогенератора ДЕ-25/14 шляхом заміни існуючих водяного економайзера і повітропідігрівника на комбінований термосифонний економайзер-повітропідігрівник.

2. Впровадження в парогенераторах малої та середньої потужності промислових котелень м'ясопереробних підприємств термосифонних економайзерів-повітропідігрівників дає змогу суттєво підвищити їх енергоефективність і зменшити витрату паливно-енергетичних ресурсів на вироблення й відпуск теплової енергії споживачам.

Література

1. Павелко В.І. Теплозабезпечення підприємств м'ясопереробної та молокопереробної галузей промисловості. Навчальний посібник. — Вінниця : Нова Книга, 2007. — 216 с.
2. Безродный М.К. Процессы переноса в двухфазных термосифонных системах. Теория и практика / М.К. Безродный, И.Л. Пиоро, Т.О. Костюк. — Киев : Факт, 2005. — 703 с.
3. Долганов Ю.А. Термосифонный экономайзер-повітропідігрівник для котельних агрегатів малої потужності / Ю.А. Долганов, О.А. Єпіфанов, Б.В. Димо // Збірник наукових праць НУК. — Миколаїв : Видавництво НУК, 2012. — 20 с.
4. Пиоро И.Л. Эффективные теплообменники с двухфазными термосифонами. — Киев : Наукова думка, 1991. — 248 с.
5. Безродный М.К. Двухфазные термосифоны в промышленной теплотехнике / М.К. Безродный, С.С. Волков, В.Ф. Мокляк. — Киев : Вища школа, 1991. — 75 с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ МАЛОЙ И СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ В КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ МЯСОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В.И. Павелко, С.И. Глиняный

В статье обоснована целесообразность модернизации парогенераторов малой и средней мощности, которыми оборудованы промышленные котельные большинства мясоперерабатывающих предприятий Украины. Описаны конструкция и принцип работы экономайзера-воздухоподогревателя для парогенератора типа ДЕ-25/14. Приведены результаты технико-экономического расчета эффективности реконструкции хвостовой части парогенератора ДЕ-25/14 в условиях эксплуатации его в ТЭЦ (промышленных котельных) мясоперерабатывающих предприятий.

Ключевые слова: модернизация, эффективность, экономайзер, воздухоподогреватель.

STUDY ON THE EFFECTIVENESS OF NATURAL DISINFECTANT “BETASTAB” FOR SUGAR BEET PROCESSING

N. Husyatynska, T. Nechipor, S. Teterina

National University of Food Technologies

Key words:

*Diffusion juice
Contaminating
microflora
Disinfectant
Hop β -acids*

Article history:

Received 16.11.2016
Received in revised form
29.11.2016
Accepted 14.12.2016

Corresponding author:

N. Husyatynska
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The effectiveness of disinfectant “Betastab”, based on natural hop β -acids, against contaminating microflora of sugar production was studied. Gram-positive bacterial cultures of *Bacillus subtilis*, *B. megaterium* and *Leuconostoc mesenteroides*, yeast *Saccharomyces cerevisiae*, *Rhodotorula glutinis*, *Micromyces Endomyces lactis* belonging to contaminating microflora of diffusion juice and technological water were used in the present research. The highest bactericidal effect of “Betastab” against Gram-positive bacteria was observed when the disinfectant was used at concentrations from 0.025 to 0.05% (w/v). Also the influence of disinfectant “Betastab” against microflora on diffusion juice of sugar production was studied. Addition of “Betastab” to diffusion juice ensured disinfection effect on acidogenic bacteria because of pH stabilization. It was found that the efficiency of disinfectant “Betastab” could be compared with the efficiency of other commercial biocides. The feasibility of “Betastab” application in sugar production was shown.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПРИРОДНОГО АНТИМІКРОБНОГО ЗАСОБУ «БЕТАСТАБ» ПРИ ПЕРЕРОБЛЕННІ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

Н.А. Гусятинська, Т.М. Нечипор, С.М. Тетеріна

Національний університет харчових технологій

У статті наведено результати досліджень ефективності дії дезінфікуючого засобу «Бетастаб» на основі натуральних β -хмелевих кислот. Дослідження проводили на чистих культурах мікроорганізмів, які належать до контамінуючої мікрофлори дифузійного соку і технологічних вод, зокрема бактерії *Bacillus subtilis*, *B. megatherium*, *Leuconostoc mesenteroides*, дріжджі *Saccharomyces cerevisiae*, *Rhodotorula glutinis*, мікроміцети *Endomyces lactis*. У ході досліджень було встановлено високу бактерицидну дію засобу щодо грампозитивних бактерій при його використанні в концентрації 0,025—0,05%. Також досліджено вплив засобу «Бетастаб» на мікрофлору дифузій-

ного соку у виробництві цукру з буряків. Отримані в ході досліджень результати свідчать про ефективність знезаражувальної дії засобу щодо кислотоутворювальних мікроорганізмів. Варто зазначити, що при використанні засобу спостерігалась стабілізація показника рН при термостатуванні проб дифузійного соку. Встановлено, що засіб «Бетастаб» конкурентоспроможний порівняно з іншим сучасними біоцидами. Результати лабораторних досліджень підтвердили доцільність використання засобу в промислових умовах.

Ключові слова: дифузійний сік, контамінуюча мікрофлора, дезінфектант, β -хмелеві кислоти.

Постановка проблеми. Основною сировиною для виробництва білого цукру в Україні є цукрові буряки. В результаті використання сучасної збиральної техніки збільшується кількість пошкоджень поверхні коренеплодів, що призводить до зменшення терміну зберігання буряків через розвиток слизистого бактеріозу та кагатної гнилі [9]. При переробці цукрових буряків низької якості знижується якість стружки та ефективність вилучення сахарози, збільшується ступінь інфікування дифузійного апарата, де відбувається швидкий розвиток мікроорганізмів, продукти життєдіяльності яких негативно впливають на роботу всіх подальших стадій виробництва цукру. Так, наприклад, накопичення у соку летких сполук підвищує піноутворюючу здатність дифузійного соку; утворення полісахаридів (в основному декстрану та левану) ускладнює процес фільтрування; збільшення вмісту органічних кислот (молочної, масляної, бутилової, оцтової, щавлевої) сприяє інвертному розкладанню сахарози, що створює проблеми на етапі кристалізації [4; 7].

Втрати сахарози від розкладання при переробленні цукрових буряків на вітчизняних підприємствах становлять 0,44—1,5 % до маси буряків [3]. У процесі екстрагування втрати сахарози внаслідок життєдіяльності мікроорганізмів складають 0,06—0,1 % до маси буряків, а при несприятливих умовах зростають до 0,3 % та вище, тому проблемі зменшення негативного впливу мікрофлори і втрат сахарози від розкладання необхідно приділяти постійну увагу.

Найбільшого ефекту пригнічення життєдіяльності мікроорганізмів можна досягти шляхом підтримання температури близько 75 °С протягом усього процесу екстракції, проте з технологічної точки зору такий температурний режим призводить до підвищення вмісту пектинових речовин, що негативно впливає на процес фільтрації та призводить до погіршення якості очищеного соку. Сукупність названих наслідків перешкоджає отриманню якісного білого цукру, тому на цукрових заводах з метою інгібування мікробіологічних процесів вводять дезінфікуючі засоби на стадії екстрагування. Як дезінфікуючий засіб для пригнічення розвитку мікроорганізмів вітчизняні підприємства широко використовують формалін, витрата і частота додавання якого в дифузійні апарати встановлюється, виходячи з мікробіологічної забрудненості дифузійного соку [2; 3]. Проте використання формаліну як дезінфікуючого засобу обмежене такими причинами [1; 2]: формальдегід (діюча складова) — токсична речовина, яка негативно впливає на оточуюче середо-

вище та здоров'я людини, оскільки спричинює алергічні реакції, проявляє канцерогенні властивості і може викликати подразнення слизових оболонок людини. Крім того, підвищений вміст формаліну у відходах цукрового виробництва — мелясі і жомі, обмежує їх подальше використання.

У ряді європейських країн і США застосування формаліну заборонено [2], а в Польщі його витрати обмежуються і не повинні перевищувати 0,012% (або 120 г/т буряків). На вітчизняних цукрових заводах його витрати тільки у дифузійному відділенні становлять 150 г/т буряків.

Наразі широко використовують у цукровому виробництві дезінфікуючі засоби окиснювального характеру — хлор і хлорвмісні препарати, а саме: хлорне вапно і гіпохлорити натрію [1; 2]. Негативними аспектами використання даних засобів нехтують, зважаючи на їх низьку собівартість.

Затрати на дезінфікуючі засоби складають близько 10—15% від вартості цукру, втраченого в результаті його мікробного розкладу, тому правильний вибір і використання дезінфектантів є ефективним заходом зниження неврахованих втрат сахарози [3].

На ряді зарубіжних виробництв альтернативою токсичним біоцидним препаратам є використання природних антимікробних засобів, зокрема препаратів на основі β -хмелевих кислот, які мають чітко виражену дезінфікуючу дію щодо основних контамінантів виробництва цукру, не спричиняють шкідливого впливу на людину, розкладаються в навколишньому середовищі.

Дезінфекційний засіб на основі β -кислот хмелю «Бетастаб» вперше був використаний під назвою «Baseextract» в емульгованому вигляді [6] і містив близько 50% β -кислоти, яка є найменш розчинною, але найбільш ефективною серед інших кислот хмелю. Пізніше β -кислоти для більшої ефективності було запропоновано використовувати як лужні розчини. В такому складі вони використовуються і зараз як препарат «Бетастаб» або «BetaStab 10А». Структурні формули кислот хмелю зображені на рис. 1.

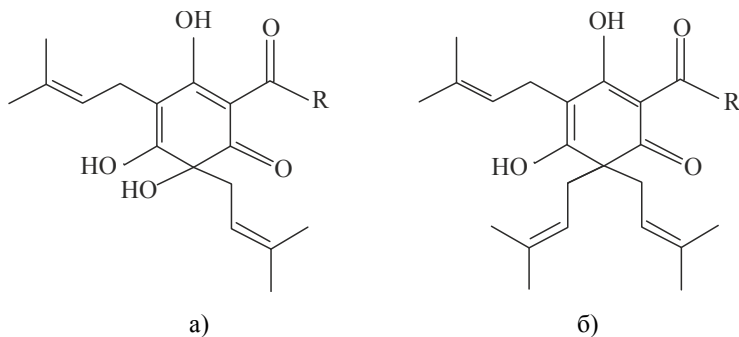


Рис. 1. Структурні формули а) α -хмелевих і б) β -хмелевих кислот

До складу комерційного препарату «Бетастаб» входять три первинні β -кислоти:

- Lupulinic — $R=CH_2CH(CH_3)_2$;
- Co-Iupulinic — $R=CH(CH_3)_2$;
- Ad-lupulinic — $R=CH(CH_3)CH_2CH_3$.

Отримують кислоти з хмелевих смол використанням надкритичної екстракції діоксидом вуглецю.

Бактерицидний механізм β -кислоти залежить від гідрофобних властивостей бактеріальної клітини. Первинною дією є зміна проникності мембрани [5]. Клітинна стінка грампозитивних бактерій містить пептидоглікан муреїн і складає до 20% від сухої ваги клітин. На противагу цьому, клітинна стінка грамнегативних становить менше 2% від їх загальної ваги, але клітина покрита ліпополісахаридною мембраною, хімопроникність якої значно менша. Тому клітинні стінки грампозитивних бактерій є більш проникним, ніж грамнегативних, і хмелеві кислоти виявляють більшу ефективність щодо пригнічення грампозитивних мікроорганізмів. Опинившись всередині клітинної мембрани, β -кислоти пригнічують процеси синтезу білка, ДНК і РНК, тому лізис клітини відбувається швидко. В останні десятиліття в наукових працях доведена і пояснюється дія кислот хмелю на бактерії, яка полягає в дизфункції бактеріальної мембрани [8] і, як наслідок, зниженні внутрішньоклітинного значення рН.

Комерційно доступні препарати хмелю є альтернативою застосуванню високоагресивних чи малоефективних біоцидів. Переваги використання препарату «Бетастаб» як дезінфікуючого засобу включають меншу корозійну активність, простоту та безпечність застосування [5]. Ці переваги спонукають до необхідності дослідження ефективності використання та встановлення оптимальних режимів застосування препарату.

Мета статті: дослідження ефективності сучасного дезінфікуючого засобу «Бетастаб» щодо контамінуючої мікрофлори буряко-цукрового виробництва порівняно з іншими сучасними біоцидами для подальшого його застосування при виробництві цукру.

Матеріали і методи. В ході досліджень використовували такі деззасоби з відповідними концентраціями діючої речовини: Нобак (основна діюча речовина цитросайд) — 0,0004 та 0,0008%, Санітарін (дихлорізоціанурова кислота) — 0,0004 та 0,0008%, Гембар (полігексаметілен гуанідин) — 0,0006 та 0,0012%, Бетастаб (β -кислоти) — 0,025 та 0,05%. Як об'єкти досліджень використовували чисті культури мікроорганізмів, які належать до контамінуючої мікрофлори дифузійного соку й технологічних вод [2; 3]: мезофільні бактерії *Bacillus subtilis*, *B. megatherium*, *Leuconostoc mesenteroides*, дріжджі *Saccharomyces cerevisiae*, *Rhodotorula glutinis*, мікроміцети *Endomyces lactis*.

Дослідження здійснювали методом циліндрів. Після засіву поживного середовища відповідною тест-культурою (при дотриманні умов асептики) на поверхні середовища розташовували стерильні скляні циліндри на відстані 1,5—2,0 см від краю чашки Петрі. В циліндри вносили водні розчини певного дезінфікуючого засобу відповідної концентрації. Висновки про ефективність дезінфікуючого засобу робили з урахуванням наявності та розмірів зони затримки росту мікроорганізмів.

Результати і обговорення. Результати досліджень, зафіксовані після термостатування протягом 24 год за температури 37 °С, представлені на рис. 2.

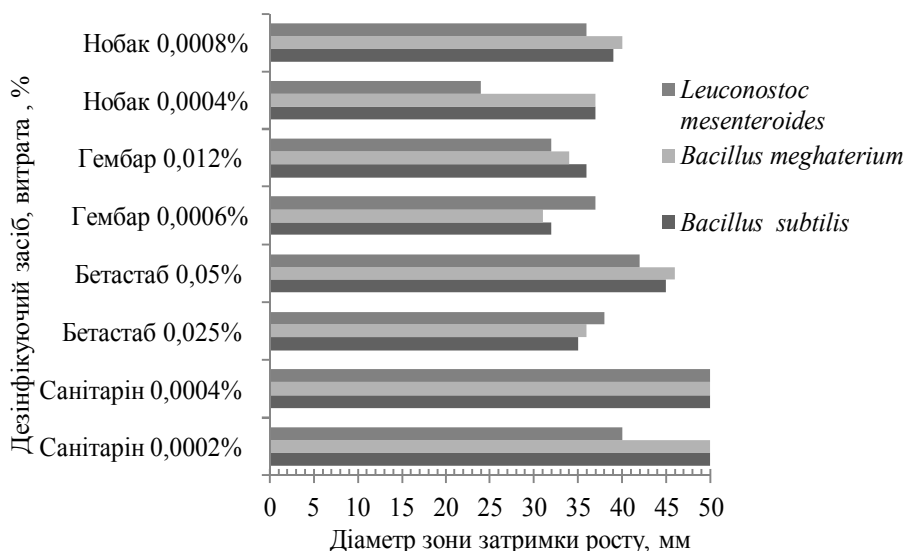


Рис. 2. Ефективність дії дезінфікуючих засобів щодо чистих культур мікроорганізмів

Порівняння отриманих дослідних даних вказує на високий бактерицидний ефект засобу на основі натрієвої солі дихлоризоціанурової кислоти «Санітарину» за витрат 0,0002%.

Достаньо високу ефективність дії щодо грампозитивних мікроорганізмів виявив засіб на основі екологічно чистих β -хмелевих кислот «Бетастаб» при його використанні в концентрації 0,025—0,05%. При вказаних концентраціях засобу спостерігався бактеріостатичний ефект.

Дезінфікуючий засіб з пролонгованою дією «Гембар» характеризувався високою ефективністю щодо досліджуваних культур мікроорганізмів, про що свідчила наявність чітких зон затримки росту, на яких не спостерігалось явище вторинного росту культур навіть на сьому добу досліджень, однак за обраних витрат даний препарат виявився менш ефективним порівняно із засобами «Санітарін» і «Бетастаб».

Засіб «Нобак» при його використанні в концентрації 0,0004—0,0008% виявляв достатню дезінфікуючу дію щодо обраних контамінантів: високо-чутливими до нього виявились бактерії роду *Bacillus*, менш чутливими — *Leuconostoc mesenteroides*.

Таким чином, проведені дослідження підтвердили ефективність застосування екологічно-безпечного препарату на основі β -хмелевих кислот «Бетастаб» щодо пригнічення життєдіяльності основних контамінантів бурякоцукрового виробництва, оскільки за своїми незаражувальними властивостями він не поступається відомим сучасним препаратам.

Оскільки контамінантами в цукровій промисловості є не лише бактерії, але й еукаріотичні мікроорганізми — гриби і дріжджі, то нами було проведено дослідження дії антимікробних засобів щодо контамінантів-еукаріотів.

У результаті проведених досліджень було встановлено, що засіб «Бетастаб» характеризується низькою фунгіцидною дією, свідченням чого була

низька ефективність дії щодо дріжджових культур і мікроміцетів *Endomycetes lactis*, які є представниками мікрофлори псування цукрових буряків і при значному інфікуванні коренеплодів можуть виявлятися і продовжувати шкодочинну дію на наступних етапах виробництва цукру.

Для впровадження засобу «Бетастаб» у буряко-цукровому виробництві доцільно провести дослідження ефекту знезараження дифузійного соку та визначення оптимальних витрат даного дезінфектанту.

Відомо, що наслідком життєдіяльності більшості мікроорганізмів у цукровому виробництві є органічні кислоти [3], тому було проведено дослідження зміни pH_{20} дифузійного соку при внесенні до нього дезінфікуючого засобу «Бетастаб» у кількості 0,0025% під час термостатування за температури 55 °С протягом 72 год порівняно з пробою дифузійного соку без застосування дезінфектантів. Результати вимірювань наведено на графіку (рис. 3).

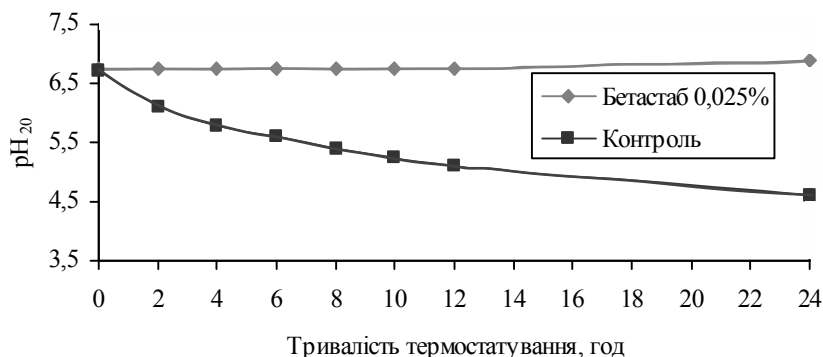


Рис. 3. Залежність pH_{20} дифузійного соку від тривалості термостатування і застосування дезінфектанту

Згідно з одержаними експериментальними даними (рис. 3), під час 24 год термостатування pH_{20} контрольної проби (дифузійний сік без дезінфектанту) із початкового значення $pH = 6,71$ знизилася до 4,6.

У разі внесення перед термостатуванням у вихідну пробу засобу «Бетастаб» в кількості 0,0025% до маси соку pH_{20} соку залишалось протягом 24 год практично незмінним.

Висновки

Отже, в результаті проведених досліджень було встановлено, що дезінфікуючий засіб «Бетастаб» має високу бактерицидну дію щодо більшості контамінантів цукрового виробництва, а також ефективно знезаражує дифузійний сік за витрат 0,025—0,05%. Враховуючи ефективність бактерицидної дії засобу «Бетастаб», виявлену при лабораторних дослідженнях, та екологічність засобу, актуальним, на нашу думку, є проведення випробувань препарату в промислових умовах.

Література

1. Гусятинська Н.А. Дослідження ефективності застосування дезінфекційного засобу «Жавель-Клейд» на Глобинському цукровому заводі / Н.А. Гусятинська, С.М. Тетеріна, Л.М. Бурда // Цукор України. — 2014. — № 1. — С. 14—19.

2. Гусятинська Н.А. Наукове обґрунтування та розроблення фізико-хімічних методів інтенсифікації вилучення сахарози з цукрових буряків : автореф. Дис. ... канд. техн. Наук : 05.18.05 / Гусятинська Н.А. ; НУХТ. — Київ, 2008. — 41 с.
3. Чернявська Л.І. Про втрати цукрози внаслідок мікробіологічного розкладання у цукровому виробництві / Л.І. Чернявська, Ю.О. Зотова, О.В. Леонтьєва // Цукор України. — 2002. — № 3. — С. 8—11.
4. Abdel-Rahman E.A., Schick R., Kurz T. Influence of dextran on sucrose crystallization // Zuckerindustrie. — 2007. — Vol. 132, # 6. — P. 453—460.
5. Fowers M. The Bactericidal Effect of Hop Derived β -acids // ASSBT-Proceedings from the 31st Biennial Meeting at Vancouver, BC (28 Feb. — 3 March 2001). — 2001. — P. 79—84.
6. Gudmundson C. Danisco Sugar's experience with hops extracts as alternative for formaldehyde // Zuckerindustrie. — 1998. — # 123. — P. 456.
7. Hein W., Rosner G., Emerstorfer F. Measures to prevent operational disturbances caused by dextran // Sugar Industry. — 2008. — Vol. 133, # 3. — P.135—143
8. Teuber M. Membrane Leakage in *Bacillus subtilis* 168 Induced by the Hop Constituents Lupulone, Humulone, Isohumulone and Humulinic acid // Arch. Mikrobiol. — 1973. — # 94. — P. 159—171.
9. Walker, H. G., Rorem E. S., and McCready R. M. Compositional changes in diffusion juices from stored sugar beets // Journal of the American Society of Sugar Beet Technologists. — 1960. — # 11. — P. 206—214.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИРОДНОГО АНТИМИКРОБНОГО СРЕДСТВА «БЕТАСТАБ» ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

Н.А. Гусятинская, Т.М. Нечипор, С.М. Тетерина

Национальный университет пищевых технологий

*В статье приведены результаты исследований эффективности действия дезинфицирующего средства «Бетастаб» на основе натуральных β -кислот хмеля. Исследования проводили с использованием чистых культур микроорганизмов, представителей типичной контаминирующей микрофлоры диффузионного сока и технологических вод сахарного производства, в частности *Bacillus subtilis*, *B. megatherium*, *Leuconostoc mesenteroides*, дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*, *Rhodotorula glutinis*, микромицеты *Endomyces lactis*. В ходе исследований было установлено высокое бактерицидное действие средства по отношению к грамположительным микроорганизмам при его использовании в концентрации 0,025—0,05%. Также исследовано влияние средства «Бетастаб» на микрофлору диффузионного сока в производстве сахара из свеклы. Полученные в ходе исследований результаты свидетельствуют о высоких бактерицидных свойствах средства по отношению к кислотообразующим микроорганизмам. Следует отметить, что при использовании средства наблюдалась стабилизация показателя pH при термостатировании проб диффузионного сока. Установлено, что средство «Бетастаб» является конкурентоспособным сравнительно с другими современными биоцидами. Результаты лабораторных исследований подтвердили целесообразность использования средства в промышленных условиях.*

Ключевые слова: диффузионный сок, контаминирующая микрофлора, дезинфектант, β -кислоты хмеля.

УДК 637.5

THE COMPLEX OF IODINE WITH β -CYCLODEXTRIN AS A FUNCTIONAL ADDITIVE IN THE TECHNOLOGY OF COOKED SAUSAGE PRODUCTS

Ch. Omelchenko, M. Polumbryk, V. Pasichnyi, O. Polumbryk

*National University of Food Technologies***Key words:**

*Host-guest complex
Cyclodextrin
Iodine
Functional product
Fortification
3,5-diiodotyrosine
Boiled sausages*

Article history:

Received 12.11.2016
Received in revised form
05.12.2016
Accepted 26.12.2016

Corresponding author:

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

ABSTRACT

A novel host-guest complex was obtained by means of direct reaction between β -cyclodextrin and iodine. The host-guest complex was used as an additive in meat sausages enriched with iodine. Meat boiled sausages were selected as an object of fortification by the host-guest complex taking into account their frequent use in a diet, high amount of L-tyrosine in a protein complex, possibility of 3,5-diiodotyrosine formation caused by interaction between the complex and L-tyrosine as well as the absence of negative impact on the quality of the finished product, high iodine retention during food processing, safety, bioavailability and normal ingestion. Iodine content in the developed formulation of sausages was 4 $\mu\text{g/g}$. The consumption of 150 g of this product fully compensates the daily requirements of iodine. The complex has no impact on quality or sensory characteristics of final boiled sausages. Clinical trials showed that after 10 days of consumption of these sausages the iodine supply has been fully restored for the individuals having moderate iodine deficiency.

КОМПЛЕКС ЙОДУ З β -ЦИКЛОДЕКСТРИНОМ ЯК ФУНКЦІОНАЛЬНА ДОБАВКА У ТЕХНОЛОГІЇ ВАРЕНИХ КОВБАСНИХ ВИРОБІВ

Х.В. Омельченко, М.О. Полумбрик, В.М. Пасічний, О.М. Полумбрик

Національний університет харчових технологій

У статті одержано комплекс між йодом та β -циклодекстрином, в якому одна молекула циклічного олігосахариди зв'язує молекулу йоду. Комплекс «гість-хазяїн» використано як функціональну добавку для збагачення йодом м'ясних сосисок. Комплекс йоду з β -циклодекстрином характеризується можливістю утворення 3,5-дйодтирозину при дії комплексу на молекули тирозину, відсутністю негативного впливу на якість готової продукції, високим ступенем утримання йоду після технологічної обробки, нешкідливістю, біодоступністю, засвоєнням організмом у складі сосисок. Розроблено рецептуру м'ясних сосисок із вмістом отриманого комплексу 4 мкг/г продукту, що повністю компенсує добову потребу в цьому мікроелементі при споживанні 150 г виробів. Отриманий комплекс не впливає на органолептич-

ні та мікробіологічні характеристики готових виробів. Проведені клінічні випробування цих варених ковбасних виробів показали, що після 10-денного їх споживання достатнє йодне забезпечення було відновлено повністю в осіб із помірним йододефіцитом.

Ключові слова: комплекс «гість–хазяїн», циклодекстрин, йод, функціональний продукт, збагачення, 3,5-дйодтирозин, сосиски.

Постановка проблеми. Йод є одним із найважливіших мікронутрієнтів серед важких елементів, які входять до складу нормальних біологічних структур і виконують у них певні функції, необхідні живим організмам. Вміст йоду в організмі дорослої здорової людини налічує близько 15—20 мг, 70%—80% якого міститься в щитоподібній залозі [1]. Йод є компонентом гормонів щитоподібної залози тироксину (Т4) і трийодтироніну (Т3). Гормони щитовидної залози регулюють багато важливих біохімічних реакцій, в тому числі синтез білка й активність ферментів, а також слугують найважливішими факторами, що визначають метаболічну активність. Вони також необхідні для правильного розвитку скелета і центральної нервової системи у плода і новонароджених. Функція щитовидної залози насамперед регулюється тиреотропним гормоном (ТТГ).

Йод природно наявний у деяких продуктах харчування. Проте ґрунти містять різні кількості йоду, що, у свою чергу, впливає на вміст йоду в рослинах. Йод-дефіцитні ґрунти досить поширені, через що підвищується ризик дефіциту йоду серед людей, які споживають продукти насамперед з цих районів. Багато країн запровадили програми йодування солі, які різко скоротили поширеність дефіциту йоду в усьому світі. Йодована сіль у Сполучених Штатах, наприклад, містить 45 мкг йоду/г солі. Йод також доступний як харчова добавка.

Йод у продуктах харчування і йодованій солі існує у декількох хімічних формах, наприклад, солі натрію і калію, неорганічний йод (I_2), йодат (IO_3^-) та йодид (I^-) [6]. ВООЗ рекомендує використовувати йодат калію через його більшу стабільність [7]. Хоча є деякі недоліки у хімічних формах йоду, а саме: гігроскопічність і розчинність йодиду калію у воді відносно висока, що, у свою чергу, викликає втрати у процесі зберігання й технологічної обробки; йодат калію часто викликає погіршення органолептичних і фізико-хімічних властивостей готової продукції. Попри деякі недоліки, йодування солі довело свою ефективність у країнах, де воно є обов'язковим. Добавки саме з молекулярним йодом (I_2), а не йодидом (I^-) впливають на апоптоз раку молочної залози ссавців, тому що I_2 значно уповільнює поширення ракових клітин. Продукти харчування, які збагачені йодом, широко використовуються в харчових технологіях. Поруч з йодованою сіллю використовують йодказеїн, екстракти водоростей, йодовані білкові ізоляти, комплекси йоду з полісахаридами тощо. В Україні розроблені технології продуктів харчування з використанням морських водоростей. Заслуговує на увагу така рослина, як *Stellária media*, вміст йоду в якій 360—700 мікрограм на 100 г сухої маси. Також розроблені біологічно активні добавки: «Барба-йод», «Еламін», які успішно

використовуються в лікуванні зобу [8]. Відомі дані про застосування калій йодиду в технології м'ясних продуктів. Однак споживання цих продуктів і добавок, на жаль, має поодинокий характер, вміст активного йоду значно варіюється залежно від джерела сировини.

Збагачення харчових продуктів йодованою сіллю має і ряд недоліків, в тому числі негативний вплив на якісні показники готових виробів та ймовірність значних втрат, що можуть сягати 67%, особливо при тривалій дії високих температур у вологому середовищі.

Таким чином, актуальною є проблема розробки нових препаратів, які містять йод з високим ступенем стабільності виробничих процесів і біологічної доступності. Вимоги, які висуваються до цих добавок, є такими: стабільність при обробці та зберіганні харчових продуктів, відсутність негативного впливу на якість готової продукції, обмежена розчинність у воді, нешкідливість, гіпоалергенність, біодоступність, гарне засвоєння організмом, взаємодія з компонентами харчового продукту з утворенням неактивних сполук і низька вартість.

Мета статті: дослідження комплексу «гість–хазяїн» β -циклодекстрину, в якому йод наявний у полімолекулярній формі, як функціональної добавки у технології варених ковбасних виробів. Проведення клінічних випробувань дослідної партії варених ковбасних виробів з цим комплексом.

Виклад основних результатів дослідження. Унікальні властивості циклодекстринів (ЦД) пов'язані із здатністю утворювати комплекси «гість–хазяїн», подібно до нанотрубок, каліксаренів, краунетерів тощо. Молекулярна структура циклодекстринів характеризується наявністю в центрі кільця відносно неполярної порожнини, де можуть розміститися невеликі молекули, тобто вона дає змогу прийняти молекули гостя з утворенням клатрата, наприклад, з йодом [9]. Найбільш поширеними циклодекстринами вважаються α -, β -, та γ -, які складені відповідно з 6, 7 та 8 фрагментів глюкопіраноз.

Циклодекстрини володіють властивостями пребіотиків і широко використовуються в харчовій технології для стабілізації біологічно активних компонентів під час обробки. Найбільш поширеним є комплекс, у якому існують молекули циклодекстрину та «гість» у співвідношенні 1:1 [8]. Таким чином, циклодекстрини є одним із найважливіших комплексоутворювачів у водному середовищі, де гідрофобні речовини, взаємодіючи з гідрофобною внутрішньою частиною циклодекстринів, утворюють комплекси «гість–хазяїн». Для комплексоутворення обрали β -циклодекстрин, беручи до уваги його невисоку вартість, доступність, низьку розчинність у воді, простоту синтезу. У технології продуктів з м'яса, особливо вареного, втрати йоду при використанні йодованої солі можуть бути досить значними. Крім того, м'ясо курятини містить велику кількість фрагментів з тирозину, який може реагувати з молекулярним йодом з утворенням 3,5-дйодотирозину. Ця сполука є проміжною у синтезі трийодтироніну і тироксину, які є основними гормонами щитоподібної залози, тому як об'єкт збагачення було обрано варені ковбасні вироби з м'яса курятини.

Спершу було отримано комплекс йоду з β -циклодекстрином згідно з методикою [10]. Співвідношення йоду та циклодекстрину в комплексі

підтверджено за допомогою методу йодометрії. Розрахований елементний вміст йоду в комплексі склав 16,9%. Це відповідає еквімолекулярному співвідношенню між β -ЦД та йодом у комплексі. Крім того, для підтвердження структури було визначено температуру плавлення комплексу в капілярі, яка склала 76 °С, що відповідає літературним даним [10].

Визначення якісної і кількісної оцінки можливості утворення 3,5-дйодтирози при дії комплексу на молекули тирозину було здійснено за допомогою методу вискоєфективної рідинної хроматографії. Для цього використали хроматограф Agilent 1200, колонка C18, елюентом слугувала суміш 0,1 % водного розчину трифтороцтової кислоти й ацетонітрилу у співвідношенні 10:1. Показано, що концентрація 3,5-дйодтирози збільшилась із 640 нг/мл до 1200 нг/мл при підвищенні концентрації тирозину від 2,2 до 11,0 мМ при постійній концентрації (2 мМ) комплексу у 0,02 М хлоридній кислоті. 3,5-дйодтирозин може утворюватись в шлунку, рН середовища якого складає 1,7. Саме тому у дослідженнях було обрано таку концентрацію хлоридної кислоти. Таким чином, комплекс йоду з β -циклодекстрином потенційно можна використовувати для контрольованого синтезу 3,5-дйодтирози, що відрізняє його від інших йодовмісних препаратів. Проте ці припущення вимагають проведення додаткових *in vitro* та *in vivo* досліджень.

Визначення концентрації йоду в зразках продукту проводили в лабораторії ендокринних захворювань ДУ «Інститут ендокринології та обміну речовин ім. В.П. Комісаренка НАМН України». Для цього було відібрано 5 зразків вареного ковбасного виробу, кожен масою 250 мг. Для повного розкладу зразків вони були внесені у 6 мл концентрованої нітратної кислоти, після чого їх піддали мікрохвильовій обробці протягом 50 хв, а потім охолодили протягом 20 хвилин. Концентрацію йоду визначено спектрофотометрично за реакцією Сандела-Кольтгофа. Для цього спочатку побудовано графік залежності зміни поглинання ($\lambda = 420$ нм) від тривалості реакції в стандартних розчинах йоду 20;50;100;150 та 200 мкг/мл. Після цього процедуру проведено у зразках варених ковбасних виробів.

Для доведення ефективності використання комплексу йоду з β -циклодекстрином було розроблено рецептуру вареного ковбасного виробу, виготовленого відповідно до ТУ У 15.1-19492247-013-2003, в якій комплекс використовували як інгредієнт. Склад рецептури сосисок наведено у табл. 1. Кількість йоду в рецептурі була обрана з таким розрахунком, щоб забезпечити мінімальне споживання 100 мкг йоду на добу, враховуючи втрати йоду під час технологічної обробки і надходження йоду з іншими харчовими продуктами.

Як білковий стабілізатор (БС) обрано суміш з таким складом: сухий яловичий білок 60%, суха молочна сироватка 20%, карбоксиметилцелюлоза 5%, камідь гуарова 10%, камідь ксантанова 5%. Єдина технологічна відмінність від звичайної технології полягала у тому, що комплекс внесено у вигляді водного розчину безпосередньо у фарш з метою рівномірного розподілу його в продукті. Сенсорний аналіз готових виробів свідчить про відсутність впливу комплексу β -циклодекстрин-йод на смакові характеристики сосисок, які подібні до контрольних зразків, виготовлених за стандартною рецептурою.

Таблиця 1. Рецепттура сосисок, збагачених йодом

Інгредієнти	Кількість, %
Стегно куряче	70
БС	15
Соє гідролізована	15
Кремнезем, % до маси БС	0,1
Сіль, % на 100 г	2,1
Нітрит натрію, г на 100 г	0,0075
Вода	30
Ароматична суміш «Сосиски франкфуртські»	1,0
Комплекс циклодекстрину з йодом	0,00049

Дані проведених досліджень мікробіологічних показників варених ковбасних виробів щодо кількості мезофільних аеробних і факультативно-анаеробних мікроорганізмів (МАФАНМ), бактерій групи кишкової палички (БГКП), плісняви та дріжджів наведені в табл. 2.

Таблиця 2. Мікробіологічні показники ковбасних виробів з додаванням комплексу β-циклодекстрину з йодом

Показники	Термін зберігання	Зразок	Контроль
МАФАНМ, КУО/г	1 доба	$1,0 \cdot 10^2$	$1,0 \cdot 10^2$
	6 діб	$2 \cdot 10^2$	$3,0 \cdot 10^2$
БГКП в 1,0 г	1 доба	Не виявлено	Не виявлено
	6 діб	Не виявлено	Не виявлено
Пліснява, КУО/г	1 доба	<10	<10
	6 діб	<10	<10
Дріжджі, КУО/г	1 доба	<10	<10
	6 діб	<10	<10

Отримані результати свідчать, що використання в рецептурі комплексу «гість–хазяїн» йоду з циклодекстрином не позначається негативно на термінах зберігання варених ковбасних виробів, відповідаючи встановленим вимогам.

Одним із важливих критеріїв ефективності використання тієї чи іншої сполуки як носія йоду є ступінь утримання під час технологічної обробки та його рівномірний розподіл всередині харчової матриці. Концентрація йоду, знайдена в різних зразках, варіюється в межах $(22 \dots 24) \pm 2$ мкг/мл, що відповідає 80% утриманню йоду після технологічної обробки і підготовки проби.

Отримані результати свідчать, що використання в рецептурі комплексу «гість–хазяїн» йоду з циклодекстрином не позначається негативно на термінах зберігання варених ковбасних виробів, відповідаючи встановленим вимогам.

Одним із важливих критеріїв ефективності використання тієї чи іншої сполуки як носія йоду є ступінь утримання під час технологічної обробки та його рівномірний розподіл всередині харчової матриці. Концентрація йоду, знайдена в різних зразках, варіюється в межах $(22 \dots 24) \pm 2$ мкг/мл, що відповідає 80% утриманню йоду після технологічної обробки і підготовки проби.

Для визначення ефективності збагачення вареного ковбасного виробу була виготовлена дослідна партія варених ковбасних виробів, до складу рецептури яких внесено комплекс β-циклодекстрину з йодом («Декстрайод»).

У відділі епідеміології ендокринних захворювань ДУ «Інституту ендокринології та обміну речовин НАМН України» були проведені аналітичні дослідження зразків сечі, взятих у 31 волонтера, які протягом 10 днів споживали варені ковбасні вироби, виготовлені у виробничих умовах, в кількості 150 г на добу. Згідно з рецептурою, кількість йоду в зразках варених ковбасних виробів складала 100 мкг/150 г продукту. Під час проведення досліджень було визначено, що серед 29 осіб, які мали помірний йододефіцит та споживали продукт, у 16 людей після 10 днів його споживання достатнє йодне забезпечення було відновлено повністю, а в інших цей показник суттєво поліпшився. Згідно з результатами проведених досліджень усіх зразків сечі, усереднений показник йоду на початку досліджень склав 58,02 мкг/л, а після споживання зазначеного виробу він становив 110,6 мкг/л. Дослідження зразків крові у волонтерів засвідчило, що споживання даного вареного ковбасного виробу не призводило до змін гормонального фону, концентрації вільного тироксину й тиреотропного гормону (ТТГ). Ультразвукове обстеження щитоподібної залози у волонтерів не виявило в ній змін, а також її розміру. Протягом досліджень не спостерігалися побічні явища чи ускладнення при споживанні зазначених ковбасних виробів.

У результаті проведених досліджень було встановлено, що вживання вареного ковбасного виробу, збагаченого розробленим нами комплексом у рекомендованій кількості, яка становить добову потребу йоду, помітно підвищує йодний статус. Даний продукт може бути рекомендований для вживання особам, які страждають захворюваннями, пов'язаними з дефіцитом йоду. Таким чином, комплекс «гість–хазяїн» між β -циклодекстрином і йодом є перспективною функціональною добавкою, яку можливо застосовувати в широкому спектрі харчових продуктів для збагачення йодом.

Висновки

Встановлено, що використаний комплекс «гість–хазяїн» між йодом і β -циклодекстрином є перспективним носієм йоду (йодофором) для збагачення цим мікроелементом харчових продуктів. Застосування саме цієї йодної добавки у варених ковбасних виробах може забезпечити контрольоване утворення в організмі людини 3,5-дйодтирозину, який є проміжною сполукою у синтезі гормонів щитовидної залози. Утримання йоду після технологічної обробки в продукті дозволяє використання «Декстрайод» в технології варених ковбасних виробів, а також зберігає високі якісні показники готових виробів. Споживання 150 г цього продукту дасть змогу забезпечити добову потребу йоду для дорослої людини.

Література

1. *Zimmermann M.B.* Iodine-deficiency disorders / M.B.Zimmermann, P.L. Jooste, C.S. Pandav // *Lancet*. — 2008. — Vol. 372, # 4. — P. 1251—1262.
2. *Russel R.* Dietary reference intakes for vitamin a, vitamin k, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc / R. Russel — Washington: Academy Press, 2001. — 774 p.
3. *Zimmermann M.B.* Iodine deficiency / M.B. Zimmermann // *Endocr. Rev.* — 2009. — Vol. 30, # 4. — P. 376—408.

4. Pennington J.T. Composition of core foods of the U.S. food supply 1982-1991. III. copper, manganese, selenium, and iodine / J.T. Pennington, S.A.Schoen, G.D.Salmon et.al. // J. Food. Comp. Anal. — 1995. — Vol. 8, # 2. — P. 171—217.
5. Teas J. Variability of iodine content in common commercially available edible seaweeds / J.Teas, S. Pino, A.Critchley, L.E.Braverman // Thyroid. — 2004. — Vol. 14, # 10. — P. 836—841.
6. Patrick L. Iodine: deficiency and therapeutic considerations / L.Patrick // Altern. Med. Rev. — 2008. — Vol. 13, # 2. — P. 116—127.
7. de Benoist B. Assessment of iodine deficiency disorders and monitoring their elimination: Third edition / B. de Benoist. — Geneva : WHO Press, 2007. — 97 p.
8. Пересічний М.І. Технологія продуктів харчування / М.І. Пересічний ; за ред. М.І. Пересічного. — Київ : КНТЕУ, 2008. — 717 с.
9. Astray G. A review on the use of cyclodextrins in foods / G. Astray, C. Gonzalez-Ba-reiro, J.C. Mejuto et.al. // Food Hydrocoll. — 2009. — Vol. 23, # 7. — P. 1631—1640.
10. Ting W. Preparation, quantitative analysis and bacteriostasis of solid state iodine inclusion complex with β -cyclodextrin / W. Ting, B.Li, Y.Feng et.al. // J. Incl. Phenom. Macrocycl. Chem. — 2010. — Vol. 69, # 1—2. — P. 255—262.

КОМПЛЕКС ЙОДА С В-ЦИКЛОДЕКСТРИНОМ КАК ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ДОБАВКА В ТЕХНОЛОГИИ ВАРЕННЫХ КОЛБАСНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Х.В. Омельченко, М.О. Полумбрик, В.Н. Пасичный, О.М. Полумбрик
Национальный университет пищевых технологий

В статье получен комплекс между йодом и β -циклодекстрином, в котором одна молекула циклического олигосахарида связывает молекулу йода. Комплекс «гость–хозяин» использован в качестве функциональной добавки для обогащения йодом мясных сосисок. Комплекс йода с β -циклодекстрином характеризуется: возможностью образования 3,5-дйодтирозина при его действии на молекулы тирозина, отсутствием негативного влияния на качество готовой продукции, высоким содержанием йода после технологической обработки, безвредностью, биодоступностью, хорошим усвоением организмом. Разработанная рецептура мясных сосисок с содержанием полученного комплекса 4 мкг/г продукта полностью компенсирует суточную потребность в йоде при потреблении 150 г этих изделий. Комплекс не влияет на органолептические и микробиологические характеристики готовых изделий. Проведенные клинические испытания этих сосисок показали, что после 10 дневного их потребления достаточное йодообеспечение было восстановлено полностью у лиц с умеренным йододефицитом.

Ключевые слова: комплекс «гость–хозяин», циклодекстрин, йод, функциональный продукт, обогащение, 3,5-дйодтирозин, сосиски.

RESEARCH OF BIOTECHNOLOGIC PROPERTIES OF DOUGH SEMI-FINISHED PRODUCTS

T. Silchuk, V. Drobot

National University of Food Technologies

Key words:

*Bakery products
Rye-wheat bread
Spontaneous
fermentation sourdough*

Article history:

Received 09.11.2016
Received in revised form
28.11.2016
Accepted 13.12.2016

Corresponding author:

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

ABSTRACT

The process of preparation of dough semi-finished products, namely of the spontaneous fermentation sourdough, was investigated in discrete condition of bread manufacturing. The process of sourdough preparation in a cycle of culturing was demonstrated and its quality was investigated in production cycle at different ratios of mature sourdough and nutrient mixture. It was found that for spontaneous fermentation sourdough updated with similar ratio of mature sourdough and nutrient mixture there is the higher content of organic acids and the quality of semi-finished products is higher. It was proved that the intensity of acid accumulation in sourdough is increased with the increase of nutrient mixture content. It was established that the use of spontaneous fermentation sourdough enables to obtain the products with high organoleptic and physicochemical indicators of quality and it can be recommended for the production of rye-wheat bread at mini-enterprises and in restaurant industry.

ДОСЛІДЖЕННЯ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТІСТОВИХ НАПІВФАБРИКАТІВ

Т.А. Сильчук, В.І. Дробот

Національний університет харчових технологій

У статті досліджено процес приготування тістових напівфабрикатів — закваски спонтанного бродіння за дискретних умов виробництва хліба. Показано процес приготування закваски в циклі розведення та досліджено її якість у виробничому циклі при різному співвідношенні в ній стиглої закваски та поживної суміші. Встановлено, що в заквасках спонтанного бродіння, оновлених при однаковому співвідношенні стиглої закваски та поживної суміші, більший вміст органічних кислот і вища якість закваски. Доведено, що інтенсивність кислотонакопичення в заквасці збільшується зі збільшенням вмісту в ній поживного середовища. Використання закваски спонтанного бродіння дає змогу отримати вироби з високими органолептичними та фізико-хімічними показниками якості та може бути рекомендоване для виробництва житньо-пшеничних сортів хліба в умовах міні-підприємств і закладів ресторанного господарства.

Ключові слова: хлібобулочні вироби, житньо-пшеничний хліб, закваска спонтанного бродіння.

Постановка проблеми. Відомо, що виробництво хлібобулочних виробів з використанням житнього борошна потребує забезпечення високої кислотності тіста, що досягається шляхом внесення в тісто густих або рідких житніх заквасок [1].

Традиційна технологія заквасок має безперервний характер і є досить працемісткою. Не кожне підприємство володіє достатніми ресурсами для ведення таких процесів, особливо міні-пекарні, на частку яких припадає значна кількість виробів [2].

Одним із ефективних напрямків вирішення цієї проблеми може стати використання заквасок спонтанного бродіння [3—8]. Це дасть змогу спростити процес приготування житньої закваски, зробити його доступним для підприємств малої потужності й при цьому отримувати продукцію високої якості. Крім того, періодичність процесу ведення закваски спонтанного бродіння забезпечить можливість оперативно реагувати на потреби ринку в житніх і житньо-пшеничних сортах хліба, виготовляти продукцію на замовлення, збільшувати або зменшувати об'єми виробництва залежно від попиту в окремі періоди року.

Технологія закваски спонтанного бродіння та якість хліба з її використанням залежать від багатьох технологічних факторів [1].

Мета статті: дослідити біотехнологічні властивості закваски спонтанного бродіння за різного співвідношення в ній стиглої закваски та поживної суміші.

Матеріали і методи. При проведенні досліджень готували закваску спонтанного бродіння вологістю 48—50%, цикл розведення якої тривав 60 годин. Через кожні 12 год бродіння до попередньої стиглої закваски додавали поживну суміш з борошна житнього обдирного та води (табл. 1).

Під час досліджень у виробничому циклі ЗСБ поновлювали через кожні 12 год бродіння при співвідношенні стиглої закваски (СЗ) та поживної суміші (ПС) у співвідношенні 1:1 (зразок № 1), 1:3 (зразок № 2) та 1:5 (зразок № 3).

Для визначення титрованої, активної кислотності та вмісту летких органічних кислот у заквасках застосовували загальноприйняті методики [9].

Таблиця 1. Фази приготування закваски спонтанного бродіння

Цикл розведення		
Борошно житнє обдирне 1,875 кг Вода 1,25 кг		W — 48...50% $\tau_{бр}$ — 12 год $t_{бр}$ — 26...28 °C
1		2
1 поновлення через 12 год	Закваска попереднього приготування — 3,125 кг Борошно 1,875 кг Вода 1,25 кг	W — 48...50% $\tau_{бр}$ — 12 год $t_{бр}$ — 26...28 °C
2 поновлення через 24 год	Закваска попереднього приготування — 6,25 кг Борошно 3,75 кг Вода 2,5 кг	W — 48...50% $\tau_{бр}$ — 12 год $t_{бр}$ — 26...28 °C

1		2
3 поновлення через 36 год	Закваска попереднього приготування — 12,5 кг Борошно 7,5 кг Вода 5 кг	W — 48...50% $\tau_{бр}$ — 12 год $t_{бр}$ — 26...28 °C
4 поновлення через 48 год	Закваска попереднього приготування — 25 кг Борошно 15 кг Вода 10 кг	W — 48...50 % $\tau_{бр}$ — 12 год $t_{бр}$ — 26...28 °C
5 поновлення через 60 год	Закваска попереднього приготування — 50 кг Борошно 30 кг Вода 20 кг	W — 48...50 % $\tau_{бр}$ — 12 год $t_{бр}$ — 26...28 °C

Результати і обговорення. Для густих заквасок спонтанного бродіння характерним є наявність у їхньому складі гомоферментативних (до 40%) і гетеро-ферментативних (до 60%) молочнокислих бактерій.

Гомоферментативні молочнокислі бактерії (*Lactobacillus plantarum*) утворюють до 88% молочної кислоти і 7,5% летких кислот. Здатності до газоутворення ці бактерії не мають. У заквасці та в тісті вони відіграють роль кислотоутворювачів.

Гетероферментативні молочнокислі бактерії (*Lactobacillus fermenti*, *Lactobacillus brevis*) утворюють до 72% молочної кислоти і 21% летких кислот (в основному оцтову), газ (в основному діоксид вуглецю) і незначну кількість спирту. Ці бактерії в заквасках і тісті є не лише кислотоутворювачами, але й енергійними газоутворювачами житнього тіста. Основну кількість оцтової кислоти заквасок і тіста утворюють саме ці бактерії [1].

Молочна кислота надає житньому хлібу приємного кислуватого смаку, а леткі кислоти — специфічний аромат. Окрім летких кислот, певний вплив на аромат хліба мають органічні ди- і трикарбонові кислоти, карбонільні з'єднання, такі як альдегіди, оксиметилфурфурол, ацетоїн, діоксиацетон, фурфурол. В утворенні багатьох з перерахованих речовин беруть участь як молочнокислі бактерії, так і заквасочні дріжджі. Дріжджі *S. minor* в основному виконують роль розпушувачів тіста, за рахунок утворення діоксиду вуглецю, впливаючи на об'єм готового хліба та пористість м'якушки. У процесі бродіння разом з головними продуктами (етанолом і діоксидом вуглецю) утворюються побічні: оцтовий альдегід, спирти, органічні кислоти та інші речовини, що надають хлібу особливого смаку й аромату [1; 4].

Для встановлення оптимального співвідношення стиглої закваски та поживної суміші у виробничому циклі закваски спонтанного бродіння проводили спеціальні дослідження.

Одним із найважливіших показників, який характеризує хід технологічного процесу, є показник титрованої й активної кислотності закваски й тіста.

Кислотонакопичення в заквасці та тісті впливає на ступінь пептизації білків, активність α -амілази, структурно-механічні властивості тіста. Крім цього, накопичення в тісті молочної, оцтової та інших органічних кислот надає житньому хлібу властивого йому смаку й аромату.

Результати досліджень свідчать, що початкова кислотність зразків закваски знижується відповідно до збільшення вмісту в ній поживної суміші.

Під час бродіння при температурі 30 °С кислотність закваски збільшується внаслідок інтенсифікації розвитку бродильної мікрофлори. Початкова кислотність зразка № 1 (табл. 2) становить 7,2 град, що пояснюється більшим вмістом стиглої закваски порівняно з іншими зразками та дією молочнокислих бактерій, які накопичуються в процесі циклу розведення закваски. Початкова кислотність зразків закваски № 2 та № 3 менша на 2—2,8 град порівняно зі зразком № 1, що обумовлено більшим вмістом у цих зразках поживної суміші з борошна житнього і води та меншою кількістю стиглої закваски. Під час бродіння титрована кислотність всіх зразків зростає. На 12 год бродіння кислотність зразків № 2 та № 3 була нижчою на 0,8—1 град, ніж у зразку № 1. Однак інтенсивність кислотонакопичення у зразках № 2 та № 3 становить відповідно 6 та 6,6 град порівняно зі зразком № 1 — 4,8 град, що обумовлено більшим вмістом поживних речовин у цих зразках, внесених із живильним середовищем, під час приготування виробничої закваски.

Таблиця 2. Зміни титрованої кислотності в процесі бродіння закваски

Тривалість бродіння	Титрована кислотність, град		
	Зразок 1 (1:1)	Зразок 2 (1:3)	Зразок 3 (1:5)
Початок бродіння	7,2	5,2	4,4
Через 2 год бродіння	8,2	6,4	5,4
Через 4 год бродіння	8,6	7,2	6,4
Через 6 год бродіння	9,0	8,4	7,8
Через 12 год бродіння	12	11,2	11

Збільшення титрованої кислотності закваски корелює зі зниженням її рН (табл. 3). Унаслідок збільшення вмісту органічних кислот у заквасці активність кислореагуючих речовин у процесі бродіння закваски зростає і, як наслідок, зменшується показник активної кислотності закваски.

Таблиця 3. Зміна активної кислотності закваски в процесі бродіння

Тривалість бродіння закваски, год	Активна кислотність, од. рН		
	Контроль (1:1)	Зразок № 2 (1:3)	Зразок № 3 (1:5)
0	5,72	5,41	5,24
2	5,64	5,35	5,22
4	5,61	5,23	5,13
6	5,46	5,18	5,06
12	5,01	4,93	4,87

Відомо, що специфічний смак і аромат житнього хліба залежить не тільки від загальної кислотності, а й від складу органічних кислот у ньому. Важливим показником ходу технологічного процесу приготування тіста, що характеризує частково смакову кислотність хліба, є вміст летких кислот. Леткі кислоти житнього тіста і хліба складаються головним чином з оцтової кислоти й невеликої кількості мурашиної (близько 16% від загальної кількості летких кислот).

Зважаючи на це, доцільно було дослідити вміст летких органічних кислот у заквасці при різному співвідношенні стиглої закваски та поживної суміші.

Визначення вмісту летких кислот проводили у виробничому циклі на початку та в кінці бродіння закваски. Як показали проведені дослідження (табл. 4), початковий вміст летких кислот у заквасці становить 22,1%. У процесі бродіння кількість їх накопичується внаслідок дії гомо- та гетероферментативних молочнокислих бактерій. Найбільш інтенсивне накопичення летких кислот відбувається в зразку №1 зі співвідношенням СЗ та ПС 1:1. Так, через 12 год бродіння вміст летких кислот збільшився в зразку №1 закваски на 36%, а в зразках № 2 та № 3 — на 20,3% та 15,3% відповідно.

Таблиця 4. Вміст летких кислот у заквасці спонтанного бродіння

Тривалість бродіння	Вміст летких кислот, % до загальної кількості		
	Зразок №1 (1:1)	Зразок № 2 (1:3)	Зразок № 3 (1:5)
Початок бродіння	22,06	19,60	11,8
Через 12 год бродіння	30,0	23,58	13,6

За рахунок загального збільшення вмісту органічних кислот у заквасці інтенсифікуються біохімічні, мікробіологічні й колоїдні процеси в тісті.

Таким чином, поновлення закваски спонтанного бродіння у співвідношенні 1:3 та 1:5 супроводжується більш інтенсивним накопиченням кислотності порівняно із закваскою при співвідношенні СЗ та ПС 1:1. Більш інтенсивне кислотонакопичення пов'язане з утворенням молочної кислоти. При цьому вміст оцтової кислоти в зразках закваски змінюється несуттєво.

Аналіз якості хліба, виготовленого на трьох зразках виробничої закваски, показав, що кращі показники питомого об'єму та пористості мав хліб з внесенням закваски при співвідношенні в ній СЗ та ПС 1:1. Якщо виникає виробнича необхідність у збільшенні кількості виробничої закваски і необхідність її поновлення при співвідношенні СЗ та ПС 1:3, то активність накопичення бродильної мікрофлори є достатньою для отримання житньо-пшеничного хліба високої якості. Поновлення закваски у виробничому циклі при співвідношенні СЗ та ПС 1:5 є недоцільним, оскільки не забезпечує належні якості, смак та аромат готових виробів.

Висновки

Впровадження технології житнього хліба на заквасках спонтанного бродіння дасть змогу розширити асортимент житнього хліба та виготовляти його на підприємствах малої потужності й пекарнях. Це збільшить сегмент житнього хліба в загальному асортименті хлібобулочних виробів. Найкращі показники якості закваски забезпечуються при співвідношенні у виробничому циклі СЗ та ПС 1:1. Проте при виробничій необхідності в збільшенні кількості закваски можливе її поновлення при співвідношенні СЗ та ПС 1:3, що забезпечить активне накопичення бродильної мікрофлори і можливість отримати готові вироби високої якості.

Література

1. Дробот В.І. Технологія хлібопекарського виробництва : підручник / В.І. Дробот — Київ : Логос, 2002. — С. 368.
2. Гук П. Анализ рынка хлебобулочных изделий Украины по итогам 2014 года // Хлебный и кондитерский бизнес. — 2015. — № 1 (24).— С. 10—11.

3. *Пшенишнюк Г.Ф.* Покращення якості житньо-пшеничних виробів на житніх заквасках спонтанного бродіння / Г.Ф. Пшенишнюк, А.Б. Демченко, Ю.С. Ковпак // Харчова наука і технологія. — 2012. — № 1 (18). — С. 82—86.

4. *Пшенишнюк Г.Ф.* Вплив житніх заквасок спонтанного бродіння на кінетику кислотно-накопичення в тісті та якість хліба / Г.Ф. Пшенишнюк, Ю.С. Ковпак // Харчова наука і технологія. — 2011. — № 1 (14). — С. 43—46.

5. *Козлов Г.Ф.* Производство ржанных заквасок в мини-пекарне // Г.Ф. Козлов, И.В. Паша // Наукові праці ОНАХТ. — 1997. — № 3 — С. 28—30.

6. *Легков И.С.* Разработка технологии производства изделий из ржаной муки в условиях малых предприятий и предприятий общественного питания: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.15. — Москва, 2012. — 30 с.

7. *Пшенишнюк Г.Ф.* Закваски спонтанного бродіння в технології житнього хліба / Г.Ф. Пшенишнюк, С.М. Павловський, Ю.С. Ковпак // Наукові праці ОНАХТ. — 2011. — Вип.40, Том 1. — С. 141—145

8. *Пшенишнюк Г.Ф.* Використання нетрадиційної сировини та напівфабрикатів у технології житнього хліба / Г.Ф. Пшенишнюк, А.Б.Чабан // Наукові праці ОНАХТ. — 2013. — Вип. 44. Том 1. — С. 111—115.

9. Лабораторний практикум з технології хлібопекарського і макаронного виробництва / В.І. Дробот, Л.Ю. Арсеньєва, О.А. Білик [та ін.]. — Київ : Центр навч. літератури, 2006. — 341 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕСТОВЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ

Т.А. Сильчук, В.И. Дробот

Национальный университет пищевых технологий

В статье исследован процесс приготовления тестовых полуфабрикатов закваски спонтанного брожения в дискретных условиях производства хлеба. Показано процесс приготовления закваски в цикле разведения, а также исследовано ее качество в производственном цикле при разном соотношении в ней зрелой закваски и питательной смеси. Установлено, что закваски спонтанного брожения, обновленные при одинаковом соотношении спелой закваски и питательной смеси, содержат больше органических кислот и характеризуются высшим качеством. Доказано, что интенсивность кислотонакопления в закваске увеличивается с увеличением содержания в ней питательной среды. Установлено, что использование закваски спонтанного брожения позволяет получить изделия с высокими органолептическими и физико-химическими показателями качества и может быть рекомендовано для производства ржано-пшеничных сортов хлеба в условиях мини-производств и заведений ресторанного хозяйства.

Ключевые слова: *хлебобулочные изделия, ржано-пшеничный хлеб, закваска спонтанного брожения.*

INFLUENCE OF WATER TEMPERATURE ON THE DURATION OF BUCKWHEAT SOAKING

V. Koshova, R. Mukoid, A. Kobernitska

National University of Food Technologies

Key words:

*Buckwheat
Soaking
Durability
Moisture
Regime
Amylase activity*

Article history:

Received 14.11.2016
Received in revised form
29.11.2016
Accepted 24.12.2016

Corresponding author:

V. Koshova
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The article presents the results of determining the mode of buckwheat soaking. The influence of steepwater temperature on the duration of soaking was proven. It was established that buckwheat malt should be soaked to the level of humidity of 42—44%. The steepwater temperature should be 16°C. The soaking mode should be the following: 4 h in water and 6 h — air rest. The duration of soaking amounts to 32-40 hours depending on the season.

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ВОДИ НА ТРИВАЛІСТЬ ЗАМОЧУВАННЯ ГРЕЧКИ

В.М. Кошова, Р.М. Мукоїд, А.О. Коберніцька

Національний університет харчових технологій

У статті підібрано режим замочування гречки, доведено вплив температури води для замочування на тривалість замочування. Встановлено, що для виробництва солоду із гречки її потрібно замочувати до вологості 42—44% при температурі води для замочування 16 °С при такому режимі: 4 год у воді, 6 год — повітряна пауза. Тривалість процесу замочування складає 32—40 год залежно від пори року.

Ключові слова: гречка, замочування, тривалість, вологість, режим, амілолітична активність.

Постановка проблеми. Гречка — однолітня рослина сімейства гречаних. Цей злак невибагливий до землеробства та кліматичних умов, дає високі врожаї впродовж багатьох років після будь-якої культури без застосування добрив. За стійкістю до несприятливих ґрунтово-кліматичних умов і хвороб гречка перевищує пшеницю й жито [1].

Гречку вважають дієтичним продуктом, тому що білки, які в ній містяться, відрізняються високою біологічною цінністю. Білки гречки легко засвоюються,

більш повноцінні порівняно з білками злаків, а за живильною цінністю не поступаються білкам бобових.

За вмістом жирів гречка перевершує всі інші круп'яні культури, за винятком пшона. Вона багата незамінними жирними кислотами, які не синтезуються в організмі людини і повинні надходити з їжею. Жир гречки відрізняється стійкістю до окислення. Це робить гречку і продукти її переробки здатними до тривалого зберігання. Також вона містить і жироподібні речовини — фосфоліпіди, зокрема лецитин.

Основними харчовими речовинами гречки є вуглеводи, що представлені крохмалем, цукрами та харчовими волокнами [2; 3].

Гречка містить вітаміни Е, В₁, В₂, РР, В₆, фолієву кислоту, а також органічні кислоти — лимонну, яблучну, щавлеву і велику кількість мікроелементів (залізо, фосфор, мідь, калій, марганець) [4; 5]. Саме тому гречка є перспективною сировиною для солодощення [6; 7; 8]. Основним фактором, що зумовлює швидкість замочування зерна, є температура води для замочування.

Мета статті: дослідити вплив температури води для замочування зерна гречки на тривалість цього процесу.

Виклад основних результатів дослідження. Замочування злаків — дуже важливий етап солодування, тому що воно є першою стадією. Для того, щоб забезпечити умови для достатнього обміну речовин у зерні, йому необхідно надати вегетаційної вологи не менше 42—48%, що залежить від особливостей злаків [9].

Для проведення досліджень було взято необрушене зерно гречки сорту «Крупинка» (згідно з ДСТУ 4524:2006 «Гречка»), фізико-хімічні показники якого наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Фізико-хімічні показники гречки сорту «Крупинка»

Показник	Вміст
Маса 1000 зерен, г	30,9
Натура, г/дм ³	630,3
Вологість, %	10,2
Крохмаль на СР, %	65,6
Титрована кислотність гречаного борошна, градуси	2,8
Плівчистість, % на СР *	6,77
Здатність до проростання, %	92
Життєздатність, %	92
Водочутливість	Не водочутлива
Екстрактивність, % на СР*	69,5
Білок, % на СР*	14,3

*СР — перерахунок на суху речовину.

Найважливішими характеристиками придатності зерна до солодощення є енергія і здатність до проростання. Якщо різниця між ними мінімальна, зерно вважається придатним до солодощення. В даному випадку вона однакова. Дослідження водочутливості показало, що зерно гречки не є водочутливим і тому придатне для солодощення.

Оскільки гречка виявилась неводочутливою, то було обрано повітряно-водяний спосіб замочування. Звичайний спосіб замочування передбачав використання води, температура якої становила 14 °С, 16 °С, теплий спосіб — 18 °С.

Згідно із завданням, дослідження режиму замочування проводили за такої витримки:

- 4 год зерно знаходилося у воді, 4 год — повітряна пауза (режим 4—4);
- 6 год зерно знаходилося у воді, 4 год — повітряна пауза (режим 6—4);
- 4 год зерно знаходилося у воді, 6 год — повітряна пауза (режим 4—6).

Тобто замочування проводилося за трьома режимами протягом 56 год для встановлення оптимальної тривалості замочування. Показники вологості гречки при режимі 4—4 наведені на рис. 1.

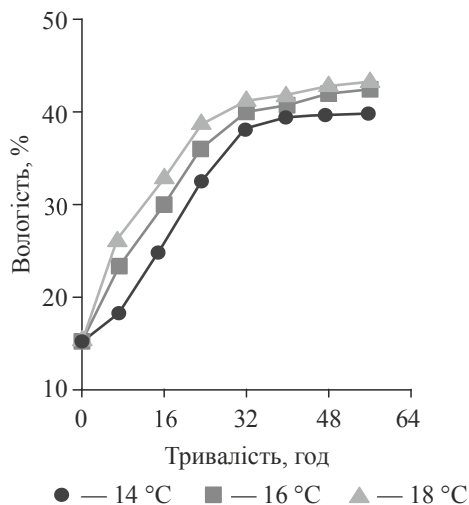


Рис. 1. Залежність вологості гречки від різних температур води для замочування при режимі 4—4

Як видно з рис. 1, зерно гречки набирало вологість поступово, спочатку з більшою швидкістю, що підтверджує вологість гречки, яка на 16 год замочування становила 25—33%. Починаючи з 32 год при температурі води 14 °С вологість досягла свого максимуму 38—40% і після 32 год замочування в подальшому майже не змінювалася. При температурі води 16 і 18 °С вологість гречки збільшилася за 32 год до 40—42 °С і в подальшому за 24 год збільшилася усього на 2—4%. Уповільнення процесу замочування відбувалося через недостатню вологопроникність і часткового закисання шару зерен гречки.

За режимом замочування 6—4 гречку витримували 6 год у воді та 4 години на повітрі. Показники вологості при даному режимі наведені на рис. 2.

Як видно з рис. 2, гречка набирала вологість поступово, спочатку з більшою швидкістю, що підтверджує вологість гречки на 32 год, яка становила 38—41%, а потім поступово процес замочування уповільнився і через 24 год ступінь замочування підвищився до 40—44%. Починаючи після 40 год замочування, відбулось повне закисання всього шару гречки, що можна

пояснити тим, що із збільшенням вологості зерно гречки більш інтенсивно дихає, збільшується виділення діоксиду вуглецю і зерно закисає. Це призводить до утворення контамінуючої мікрофлори на поверхні зерна з подальшим зараженням усього шару гречки. Як відомо, при збільшенні вологи у зерні вище за критичну, розпочинається інтенсивне дихання, в цей період дуже важливо підводити до зерна достатню кількість кисню. Чим більше зерно поглинає воду, тим інтенсивнішим стає обмін речовин, що потребує кисню.

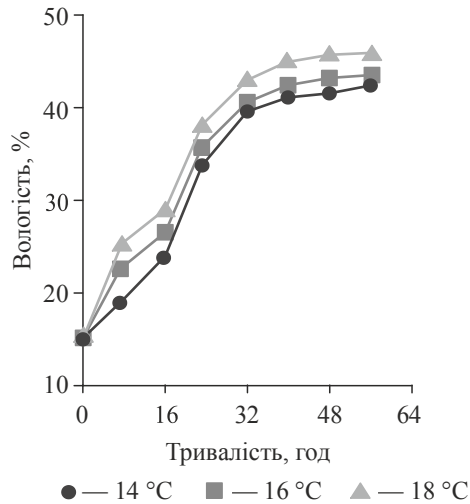


Рис. 2. Залежність вологості гречки від різних температур води для замочування при режимі 6—4

За режимом замочування 4—6 гречку витримували у воді 4 год та 6 год на повітрі при тривалості замочування 56 год. Показники вологості при даному режимі наведені на рис. 3.

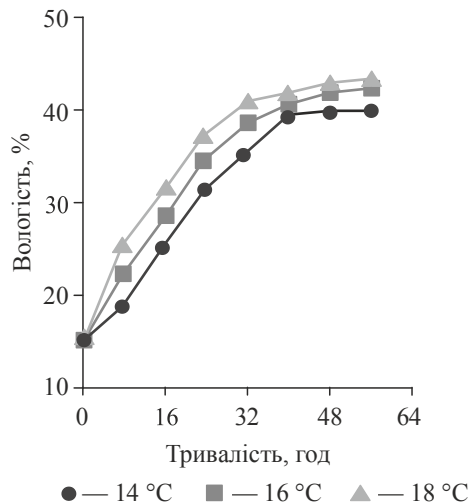


Рис. 3. Залежність вологості гречки від різних температур води для замочування при режимі 4—6

Як видно з рис. 3, гречка набирає вологість поступово, інтервал збільшення вологості знаходиться в межах 5%. Не відбувається уповільнення процесу поглинання води, діоксид вуглецю, що утворюється при диханні, видаляється і тому процес життєдіяльності не порушується (рис. 3).

Як видно з рис. 1, 2, 3, найкращим режимом для замочування виявився режим 4—6 (тобто 4 год витримки у воді, 6 год — повітряна пауза) при температурі води для замочування 16 °С і тривалості замочування 40 год. При збільшенні процесу замочування до 56 год і тривалості повітряної паузи 4 год зерно інтенсивно дихає, накопичує при цьому більше діоксиду вуглецю, закисає і на його поверхні розвивається контамінуюча мікрофлора, що призводить до збільшення втрат сухих речовин, зменшення екстрактивності і погіршення якості солоду.

При температурі 14 °С для досягнення необхідної вологості (42—44%) термін замочування потрібно збільшити в 1,5 раза, що збільшить витрати часу, а також витрати води, що вплине на собівартість продукції.

При вищій температурі замочування (18 °С) розчинність кисню зменшується, бактеріальна мікрофлора, що знаходиться на поверхні зерен, посилено розвивається і споживає значну кількість кисню, яка може призвести до нестачі його під час дихання зародка. Спостерігається також ослаблення нарощування ферментативної активності і погіршується розчинення ендосперму.

З даних, наведених на рис 1, 2, 3, видно, що із збільшенням температури води для замочування відбувається скорочення тривалості процесу замочування, однак підвищення температури з 16 °С до 18 °С не призводить до значної інтенсифікації процесу, а лише погіршує мікробіологічні показники солоду, що підтверджується і літературними даними [9; 10].

Згідно з отриманими результатами і даними, наведеними в літературних джерелах, було прийнято рішення обрати оптимальний ступінь замочування 42—44%.

Для перевірки вищенаведеного твердження було проведено визначення найкращого ступеня замочування залежно від показників амілолітичної активності (табл. 2).

Таблиця 2. Ступінь замочування гречки

Показник	Ступінь замочування гречки, %				
	40	42	44	46	48
Амілолітична активність, од. АА	263,6	265,0	284,0	264,6	262,3

Встановлено, що отримане значення амілолітичної активності досягається при ступені замочування 44%, що, у свою чергу, відповідає обраному режиму 4 год у воді, 6 год — повітряна пауза.

Висновки

1. Найкращим режимом замочування гречки є витримка у воді 4 год при температурі води для замочування 16 °С і тривалості повітряної паузи 6 год. Весь цикл замочування при таких параметрах становить не більше 48 год.

2. Найбільша амілолітична активність замоченого зерна гречка досягається при її вологості 44%.

Література

1. Аланина О.Б. Сырье с низким содержанием глютена в технологиях пивоварения / О.Б. Аланина, Н.А. Петрова, М.М. Данина // Известия СПбГУНИПТ (Межвузовский сборник научных трудов). — 2008. — № 4. — С. 42—47.
2. Петрова Н.А. Нетрадиционное низкоглютеновое сырье в технологиях специальных сортов пива / Н.А. Петрова, О.Б. Иванченко // Пиво и напитки. — 2008. — № 6. — С. 38—41.
3. Арефьева Е.А. Все ли мы знаем о гречке? / Е.А. Арефьева, О.Г. Остролуцкий, И.Е. Попова // Питание и общество. — 2011. — № 11. — С. 27—28.
4. Бабаненко П.П. Полноценная белковая композиция для функционального питания / П.П. Бабаненко, А.И. Кремер, И.Б. Немковский // Пиво и напитки. — 2006. — № 2. — 2006.
5. Троценко А.С. Зерно гречихи как перспективное сырье для напитков брожения / А.С. Троценко, В.П. Корчагин, Т.В. Танашкина // Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке. Сб. матер. IV Межд. науч.-технич. конф. — Санкт-Петербург : Изд-во СПбГУНИПТ, 2009. — С. 376—378.
6. Гернет М.В. Состояние и перспектива производства специальных сортов пива / М.В. Гернет, И.Л. Рисухина // Пиво и напитки. — 2009. — № 2. — С. 8—10.
7. Большая домашняя медицинская энциклопедия / А.К. Великин [и др.]. — Москва : Эксмо, 2007. — 800 с.
8. Алексеева Е.С. Селекция подольских сортов гречихи / Е.С. Алексеева, И.Е. Подольская. — Черновцы : РУТА, 2009. — 119 с.
9. Домарецький В.А. Технологія екстрактів, концентратів і напоїв із рослинної сировини: підруч. / В.А. Домарецький, В.Л. Прибильський, М.Г. Михайлов. — Вінниця : «Нова книга», 2005. — 408 с.
10. Скидан В.О. Якість зерна рису та інших злакових культур / В.О. Скидан, М.С. Скидан // Хранение и переработка зерна. — 2012. — № 9. — С. 28—30.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОДЫ НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЗАМАЧИВАНИЯ ГРЕЧИХИ

В.Н. Кошечая, Р.Н. Мукоид, А.А. Коберницкая

Национальный университет пищевых технологий

В статье был подобран режим замачивания гречихи, определено влияние температуры замочной воды на продолжительность ее замачивания. Установлено, что для производства солода из гречихи ее нужно замачивать до влажности 42—44% при температуре воды для замачивания 16 °С при таком режиме: 4 ч под водой, 6 ч — воздушная пауза. Продолжительность процесса замачивания составляет 32—40 ч в зависимости от времени года.

Ключевые слова: гречиха, замачивание, продолжительность, влажность, режим, амилолитическая активность.

QUALITY ANALYSIS OF CONFECTIONERY SEMI-FINISHED PRODUCTS CONTAINING PLANT POWDERS DURING STORAGE

M. Ianchyk, O. Niemirich, A. Gavrysh
National University of Food Technologies

Key words:

Confectionery semi-finished product
Plant powders
Surfactant
Quality
Functional numbers

Article history:

Received 15.11.2016
Received in revised form 18.12.2016
Accepted 26.12.2016

Corresponding author:

M. Janczyk
E-mail:
npnuht@ukr.net

ABSTRACT

The article substantiates the choice of raw materials for sugar fondant enrichment in order to obtain confectionery semi-finished products of high nutritional value, namely the powder from bananas and carrots, butter and a surfactant — citric acid ester. Functional numbers (acid number and peroxidation number of fat) in model systems of confectionery semi-finished products during storage for 50 days at 4 ± 2 °C are defined. An indicator of an effluence of free liquid fat during storage was investigated in order to identify the impact on the structure of confectionery semi-finished products of plant powders and surfactants that can interact with aqueous and fatty phases. The positive effect of plant powders and citric acid ester on the quality of confectionery semi-finished products during storage is established. The decrease of acid and peroxide numbers of fat in the studied samples is observed; that is explained by the content of natural antioxidants in the chosen raw materials. The reduction of the effluence of liquid fat is explained by proper technological properties of plant powders and the ability of surfactant to hold the fatty phase of butter.

АНАЛІЗ ЯКОСТІ КОНДИТЕРСЬКИХ НАПІВФАБРИКАТІВ З РОСЛИННИМИ ПОРОШКАМИ ВПРОДОВЖ ЗБЕРІГАННЯ

М.В. Янчик, О.В. Неміріч, А.В. Гавриш
Національний університет харчових технологій

У статті обґрунтовано вибір сировини для збагачення помади цукрової з метою отримання кондитерських напівфабрикатів підвищеної харчової цінності, а саме: порошки з банана та моркви, масло вершкове та поверхнево-активна речовина — ефір лимонної кислоти. Визначено функціональні числа (кислотне та пероксидне число жиру) в модельних системах кондитерських напівфабрикатів під час їх зберігання протягом 50 діб при 4 ± 2 °C. Досліджено показник витікання вільного рідкого жиру впродовж зберігання з метою виявлення впливу на структуру кондитерського напівфабрикату рослинних порошоків і ПАР, що здатні взаємодіяти з водною та жировою фазами.

Встановлено позитивний вплив рослинних порошків та ефіру лимонної кислоти на якість кондитерських напівфабрикатів під час їх зберігання. Спостерігається зменшення кислотного та пероксидного чисел жиру у досліджуваних зразках, що пояснюється вмістом природних антиоксидантів в обраній сировині. Зниження кількості витікання рідкого жиру пояснюється гарними технологічними властивостями рослинних порошків і здатністю ПАР утримувати жирову фазу вершкового масла.

Ключові слова: кондитерський напівфабрикат, рослинні порошки, поверхнево-активна речовина, якість, функціональні числа.

Постановка проблеми. Сьогодні серйозною проблемою в харчуванні населення економічно розвинутих країн став дефіцит нутрієнтів, що пов'язано з різким зниженням енерговитрат і зміною раціону харчування, який не забезпечує сформованих фізіологічних потреб у цілому ряді незамінних харчових речовин.

Споживання кондитерських виробів відіграє значну роль у повноцінному харчуванні різних вікових груп населення, особливо у дітей. Кондитерські вироби є групою харчових продуктів широкого асортименту, які значно відрізняються між собою за складом і споживчими властивостями. Вони користуються сталим попитом, насамперед завдяки вишуканим смаковим властивостям. Значення кондитерських виробів у харчуванні зумовлено високою енергетичною цінністю, яка забезпечується значним вмістом цукрів, а в деяких виробках і жирів, але їх харчова цінність обмежена.

Основні групи виробів у даній галузі займають борошняні кондитерські вироби. Для їх оформлення використовують різноманітні глазури, помадні маси, креми, тому доцільним є підвищення харчової цінності саме оздоблювальних напівфабрикатів.

Асортимент оздоблювальних напівфабрикатів досить широкий і продовжує збільшуватись у результаті розробок і впровадження нових видів. Розрізняють їх за різними ознаками: сировиною, способом приготування, цільовим призначенням, особливостями рецептури. Серед оздоблювальних напівфабрикатів за обсягами використання найбільш поширені цукристі напівфабрикати, в основу технології яких покладене уварювання цукрових розчинів.

При створенні нових видів продуктів із підвищеною харчовою цінністю в даній галузі науковцями часто використовуються добавки з рослинної сировини, тому для зниження енергетичної цінності та підвищення харчової цінності оздоблювальних напівфабрикатів доцільним є використання рослинних порошків, які є концентратом біологічно активних сполук. Окрім цього, порошки відіграють роль природних барвників, що значно розширює асортимент використання напівфабрикату та робить готові продукти більш привабливими для споживання.

Харчові продукти, які містять у своєму складі жири, здатні до окислення. Жири — джерело необхідних вітамінів та інших біологічно активних речовин, вони беруть участь у засвоєнні деяких нутрієнтів. Відомо, що при зберіганні у жирах проходять процеси їх харчового псування: гідроліз, під дією

ферментів і мікроорганізмів за наявності води, окиснення під дією повітря, та самоокиснення в результаті ланцюгових реакцій. Перебіг таких процесів призводить до накопичення шкідливих і токсичних речовин та погіршення органолептичних і фізико-хімічних властивостей продукту.

При зберіганні в несприятливих умовах жири набувають неприємних смаку і запаху, часто виявляються непридатними для харчових цілей. Окисні перетворення жирів супроводжуються активацією вільнорадикальних реакцій перекисного окиснення ліпідів і денатурацією вуглеводів і білків, які ініціюються і розвиваються за участю вільних радикалів — молекул або часток, що володіють високою хімічною активністю. При окисненні утворюються речовини, що не тільки погіршують якісні характеристики продукту, але здатні заподіяти шкоду здоров'ю людини [11], тому дослідження окисних процесів, що відбуваються в кондитерських напівфабрикатах під час зберігання є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розширення асортименту кондитерської продукції закладів ресторанного господарства, підвищення їх харчової цінності є актуальним завданням науковців і практиків. Як свідчить аналіз сучасних публікацій [1—5] сьогодні досліджують і вдосконалюють параметри технологічних процесів, збагачують ягідними, фруктовими, овочевими пюре, порошками, екстрактами. Серед широкого асортименту харчових продуктів борошняні кондитерські вироби з оздоблювальними напівфабрикатами є одними з найбільш енергоємних. Поступова заміна традиційного асортименту харчових продуктів на функціональні є основним напрямом розвитку сучасного ринку. Проведений аналіз сучасних досліджень у сфері оздоблювальних напівфабрикатів підтверджує актуальність створення універсального кондитерського напівфабрикату, що значно скоротить час технологічного процесу на виробництві та матиме підвищену харчову та смакову цінність.

Мета статті: дослідження якості кондитерських напівфабрикатів під час зберігання.

Матеріали і методи. Оздоблювальні напівфабрикати є зручним об'єктом для збагачення, оскільки особливо часто використовуються для надання кондитерським виробам приємного вигляду та смаку. Аналіз рецептурного складу оздоблювальних напівфабрикатів дав змогу виявити, що основними складовими інгредієнтами є цукор, патока, вода, вершкове масло. Для зразка збагачення ми вибрали цукрово-патокову помаду, яку збагачуємо вершковим маслом, ПАР тінатуральними інгредієнтами — рослинними порошками.

Як матеріали для збагачення оздоблювальної помади обрано порошки з бананів і моркви фірми «Naturex AG», Швейцарія (Висновок державної санітарно-епідеміологічної служби № 05.03.02-03/125796 від 27.12.2011), що мають масову частку вологи до 5% і дисперсність 10...20 мкм. Дані порошки мають високі органолептичні властивості, а саме: виражені смак та аромат. Порошок з банана є джерелом харчових волокон, органічних кислот, калію і магнію. Порошок з моркви містить достатню кількість органічних кислот та β -каротину. Окрім цього, відіграє роль природного барвника, що значно розширює сферу використання напівфабрикату та робить готові продукти більш привабливими для споживання [6].

Додавання вершкового масла зробить основу напівфабрикату більш пластичною: механічний вплив, при подальшому його використанні, буде проводити значно легше, так як і отримати потрібну форму при оздобленні, забезпечуватиме краще засвоєння β -каротину порошка з моркви в кондитерському напівфабрикаті. Результати дослідження помадних мас показали, що для кращих структурно-механічних властивостей важливо вносити ПАР на етапі введення порошково-масляної суміші, що дає змогу утримувати відповідну консистенцію при впливі температур. Ефір лимонної кислоти, моно-, дигліцерид (Е 472 с) — поверхнево-активна речовина, яка додається в обов'язковій кількості 0,5% від маси напівфабрикату та допомагає тримати однорідну структуру при багатократному тепловому й механічному впливі [7].

Здатність кондитерських напівфабрикатів до зберігання характеризували за показниками кислотного та перекисного числа жиру, які визначали згідно із стандартними методиками [8—9]. Здатність структури кондитерського напівфабрикату утримувати рідку фазу жиру визначали при 25 °С за методикою, запропонованою В. Мором і модифікованою Е. Ставровою [10].

Викладення основних результатів дослідження. Дослідження процесів окиснення проводили у свіжовиготовлених модельних зразках і під час їх зберігання при 4 ± 2 °С. Як контроль обрано масло солодковершкове «Селянське» з масовою часткою жиру 72,5% [12].

Первинними продуктами окиснення жиру є пероксидні сполуки, які утворюються в жирі під час технологічної обробки і при зберіганні. Для оцінки рівня розвитку окисних процесів визначили динаміку перекисного числа (ПЧ) жиру в модельних системах кондитерських напівфабрикатів, яке характеризується кількістю йоду, виділюваного в кислому середовищі з йодиду калію під дією пероксидів, що утримуються в 100 г жиру (рис. 1, 2).

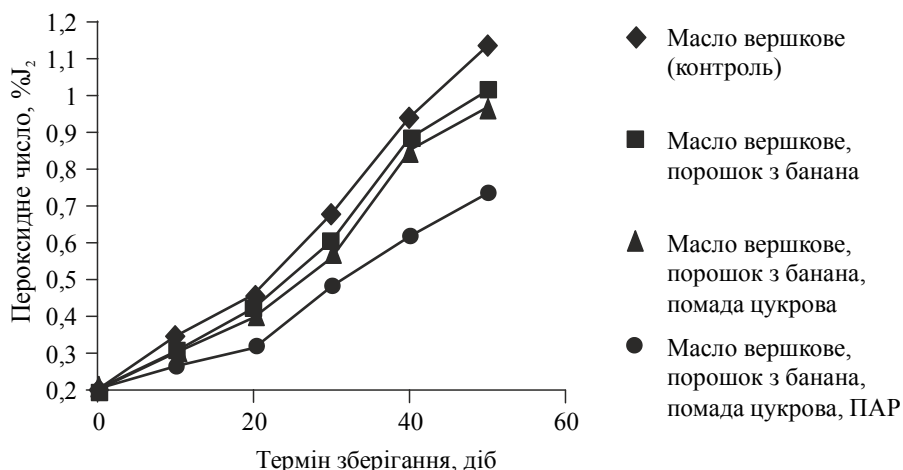


Рис. 1. Динаміка ПЧ у модельних системах кондитерського напівфабрикату з порошком з банана впродовж зберігання

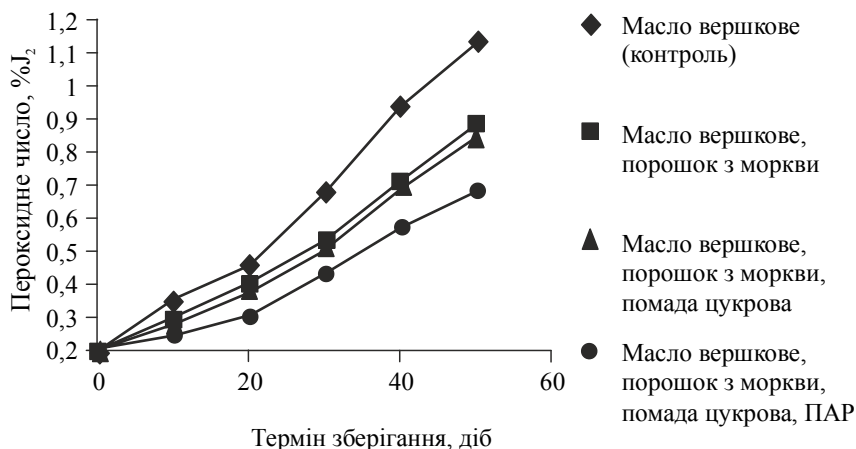


Рис. 2. Динаміка ПЧ у модельних системах кондитерського напівфабрикату з порошком з моркви впродовж зберігання

При аналізі наведених даних (рис. 1, 2) встановлено, що ПЧ жиру у контрольному зразку впродовж перших 5 діб не змінюється, а в подальшому стрімко зростає. Додавання порошку з моркви й ефіру лимонної кислоти сприяє зменшенню значення даного показника в 1,5 раза, що пояснюється вмістом біогенних антиоксидантів: β -каротину та суміші токоферолу й аскорбілпальмітату.

Визначено кислотне число (КЧ) жиру у модельних системах кондитерських напівфабрикатів безпосередньо після приготування та впродовж зберігання (рис. 3, 4), яке характеризує глибину гідролітичного розпаду жирів під час приготування, а в процесі зберігання вказує на окисне псування жиру поряд з іншими більш характерними показниками.

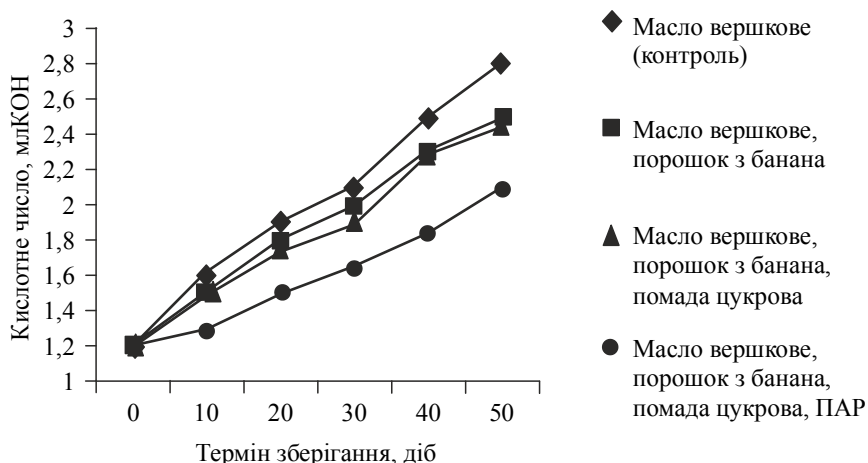


Рис. 3. Динаміка КЧ у модельних системах кондитерського напівфабрикату з порошком з банана впродовж зберігання

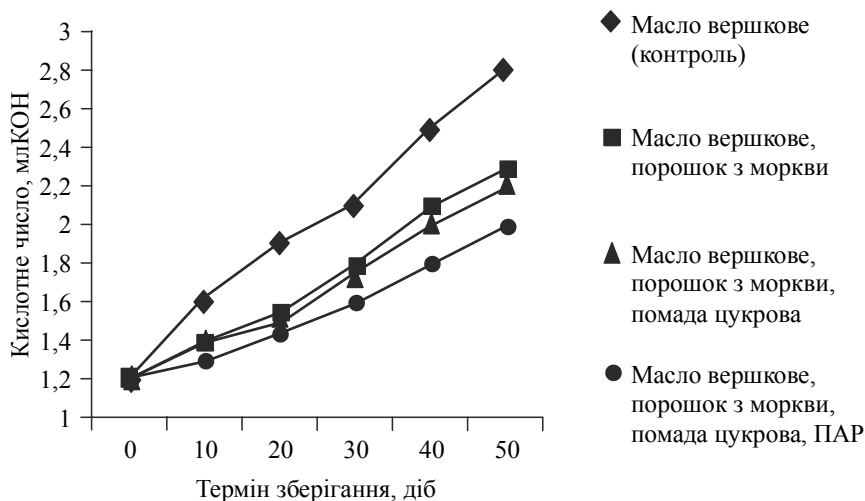


Рис. 4. Динаміка КЧ у модельних системах кондитерського напівфабрикату з порошком з моркви впродовж зберігання

Дані, наведені на рис. 3, підтверджують, що додавання ПАР сприяє ефективному гальмуванню процесу гідролізу жиру впродовж досліджуваного терміну зберігання.

Ефект гальмуючого впливу β -каротину порошку з моркви і ПАР на КЧ є наглядним (рис. 4). Так, значення показника в контрольному зразку після зберігання зростає в 2,3 раза, а в модельній системі з порошком з моркви і ПАР — в 1,7 раза.

Представлені криві свідчать, що у свіжовиготовлених моделях кондитерських напівфабрикатів показники пероксидного та кислотного числа жиру однакові, але при зберіганні накопичення продуктів окиснення у контролі проходить швидше, ніж у кінцевому продукті.

Отже, отримані результати свідчать про зниження швидкості накопичення продуктів пероксидного окиснення ліпідів у кондитерських напівфабрикатах із додаванням рослинних порошоків і ПАР. Гальмування процесів окиснення можна пояснити наявністю у зразках додатково введених із добавками природних антиоксидантів.

На нашу думку, введення рослинних порошоків і ПАР, здатних взаємодіяти з водною та, очевидно, із жировою фазою вершкового масла в кондитерському напівфабрикаті, матиме безумовний вплив і на структуру виробу. Для підтвердження висловленого припущення проведено визначення показника витікання вільного рідкого жиру. За результатами здатності структури продукту утримувати рідку фазу жиру побудовано діаграми (рис. 5, 6).

Як видно із представлених діаграм (рис. 5, 6), спостерігається поступове зменшення кількості рідкого жиру, виділеного структурами всіх зразків, що свідчить про відновлення внутрішніх зв'язків і структури продукту.

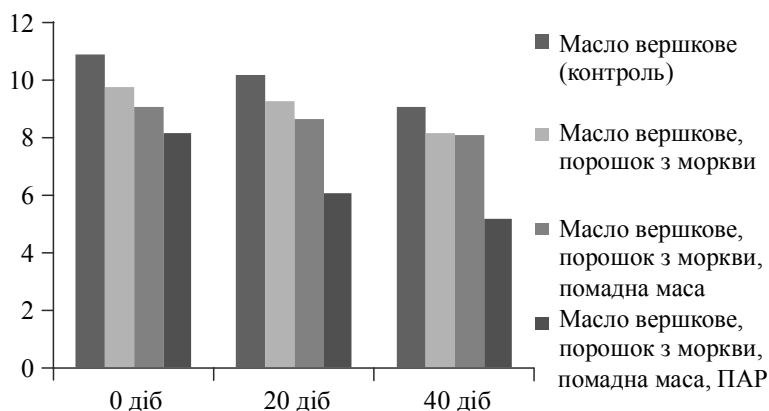


Рис. 5. Здатність модельних систем кондитерського напівфабрикату з порошком із моркви утримувати рідку фазу жиру

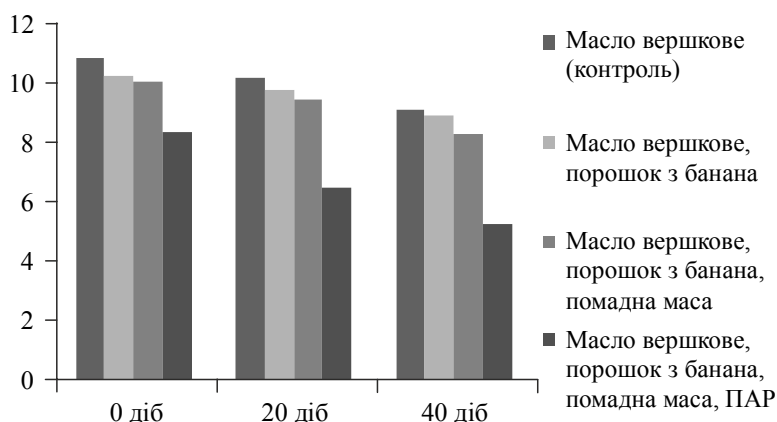


Рис. 6. Здатність модельних систем кондитерського напівфабрикату з порошком з банана утримувати рідку фазу жиру

Взявши до уваги результати досліджень технологічних властивостей порошоків із моркви та банана, можна припустити, що покращення здатності утримувати рідку фазу жиру в моделях із добавками обумовлено утворенням додаткових зв'язків між складовими порошку та продукту — формування додаткової просторової сітки.

Також із літературних джерел відомо, що здатність утримувати рідку жирову фазу має клітковина введених порошоків. Відповідно, додані рослинні порошки мають високу здатність до взаємодії з рідким жиром.

Слід зазначити, що кондитерські напівфабрикати являють собою рецептурні композиції помади цукрової та рослинно-масляної суміші з ПАР. Отже, стабільність концентрованої емульсії в даній мікрогетерогенній системі забезпечується внесенням ефіру лимонної кислоти, моно-, дигліцериду. Ефект стабілізації забезпечується також технологічними параметрами його внесення: температурою 30...40 °C і диспергуванням суміші, тому значення

показника витікання рідкого жиру в нових напівфабрикатах є меншим в 1,8 раза порівняно з контролем.

Отже, в результаті проведених досліджень можна рекомендувати як раціональний термін зберігання кондитерського напівфабрикату — 40 діб. Доведено, що завдяки міжмолекулярним зв'язкам між набряклими білками і полісахаридами рослинних порошків у водній фазі масла, що утворюють просторову сітку, і стабілізуючій дії ПАР, яка вбудована в даний каркас і одночасно утримує водну й жирову фази напівфабрикату, відбувається запобігання витікання рідкого жиру в 1,8 раза більше, ніж у модельній системі без додавання рослинної сировини і ПАР. Отримані дані свідчать про забезпечення термостійкості кондитерського напівфабрикату при розплавленні-остиганні, що має місце при залученні його до технологічного потоку виробництва кондитерської продукції.

Крім того, утримування вологи в зв'язаному стані забезпечує стабільність структури, стійкість до окислення жировмісного кондитерського напівфабрикату та його мікробіологічну безпеку впродовж досліджуваних термінів зберігання. Комплексний механізм гальмування процесів ПОЛ пов'язаний з наявністю біогенних антиоксидантів у рослинній сировині та ПАР.

Отримані положення формують наукову новизну отриманих результатів.

Висновки

На підставі проведених досліджень обґрунтовано вибір сировини для збагачення помади цукрової з метою отримання кондитерських напівфабрикатів підвищеної харчової цінності, а саме: порошки з банана та моркви холодного розпилювального сушіння, масло вершкове «Селянське» із масовою часткою жиру 72,5% та поверхнево-активна речовина — ефір лимонної кислоти. Визначено функціональні числа (кислотне та пероксидне число жиру) в модельних системах кондитерських напівфабрикатів під час їх зберігання та встановлено оптимальний термін зберігання досліджуваного продукту (40 діб при 4 ± 2 °C). Спостерігається зменшення кислотного та пероксидного чисел жиру в досліджуваних зразках, що пояснюється вмістом природних антиоксидантів в обраній сировині.

Досліджено показник витікання вільного рідкого жиру впродовж зберігання та виявлено, що рослинні порошки та ПАР здатні взаємодіяти із водною й жировою фазами та впливати на структуру кондитерського напівфабрикату. Зниження кількості витікання рідкого жиру пояснюється гарними технологічними властивостями рослинних порошків і здатністю ПАР утримувати жирову фазу вершкового масла.

Перспективою подальших досліджень є наукове обґрунтування та розробка технології глазури на основі отриманого кондитерського напівфабрикату.

Література

1. Янчик М.В. Теоретичні аспекти збагачення помадних мас нетрадиційною рослинною сировиною / М.В. Янчик, О.В. Нєміріч / Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія : Технічні науки. — Вінниця, 2015. — Випуск 1 (89), Том 2. — С. 168—173.

2. *Снежкін Ю.Ф.* Досвід використання натуральних порошків з рослинної сировини у молочних продуктах / Ю.Ф. Снежкін, Р.О. Шапар, О.О. Харін // Промышленная теплотехника. — 2002. — Т. 24, № 4. — С. 57—59.
3. *Milner J.A.* Functional foods and health: a US perspective / J.A. Milner // British Journal Nutrition. — 2002. — Volume 88, Supp. 1.2. — P. 151—158.
4. *Магомедов Г.О.* Порошкообразный полуфабрикат из сахарной свеклы в производстве масс пралине / Г.О. Магомедов, А.Я. Олейникова, М.Г. Магомедов, В.В. Астрединова // Журнал «Кондитерское производство». — 2013. — № 6. — С. 10—12.
5. *Гавва О.О.* Використання ягідного порошку в технології відливних помадкових цукерок / О.О. Гавва, А.М. Дорохович // Хлібопекарська і кондитерська промисловість України. — 2009. — № 6. — С. 42—44.
6. *Ianchyk M.* Definition indicators of quality of the confectionery semi-finished product with powders from banana and carrot / M. Ianchyk, O. Niemirich // Ukrainian Journal of Food Science. — 2016. — Volume 4, Issue 1. — P.76—84.
7. *Янчик М.В.* Технологія виробництва кондитерських напівфабрикатів з порошками з банана та моркви / М.В. Янчик, О.В. Драненко, О.В. Неміріч // Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького. — 2016. — Т. 18, №2 (68). — С. 130—133.
8. ДСТУ ISO 660:2009 Жири тваринні та рослинні й олії. Метод визначення кислотного числа та кислотності. — [Чинний від 2011-01-01]. — Київ : Держспоживстандарт України 2009. — 12 с.
9. ДСТУ 4570:2006 Жири рослинні та олії. Метод визначення пероксидного числа. — [Чинний від 2008-01-01]. — Київ : Держспоживстандарт України 2006. — 10 с.
10. *Ставрова Э.Р.* Метод определения вытекания жидкого жира из масла // Молочная промышленность. — 1970. — # 12. — С. 14—16.
11. *Баль-Прилипко Л.В.* Окисне псування харчових продуктів і методи контролю якісних показників тваринних жирів : навч. посіб. / Л.В. Баль-Прилипко, С.Д. Мельничук, В.Й. Лоханська та ін. — Київ : Академперіодика, 2011. — 130 с
12. ДСТУ 4399:2005 Масло вершкове. Технічні умови. — [Чинний від 2006-07-01]. — Київ : Держспоживстандарт України 2005. — 27 с.

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА КОНДИТЕРСКИХ ПОЛУФАБРИКАТОВ С РАСТИТЕЛЬНЫМИ ПОРОШКАМИ В ТЕЧЕНИЕ ХРАНЕНИЯ

М.В. Янчик, А.В. Немирич, А.В. Гавриш

Национальный университет пищевых технологий

В статье обоснован выбор сырья для обогащения помады сахарной с целью получения кондитерских полуфабрикатов повышенной пищевой ценности, а именно: порошки из банана и моркови, масло сливочное и поверхностно-активное вещество — эфир лимонной кислоты. Определены функциональные числа (кислотное и перекисное число жира) в модельных системах кондитерских полуфабрикатов при их хранении в течение 50 суток при 4 ± 2 °С. Исследован показатель вытекания свободного жидкого жира в течение хранения с целью выявления влияния на структуру кондитерского полуфабриката растительных порошков и ПАВ, которые способны взаимодействовать с водной и жировой фазами. Установлено положительное влияние

растительных порошков и эфира лимонной кислоты на качество кондитерских полуфабрикатов при их хранении. Наблюдается уменьшение кислотного и перекисного чисел жира в исследуемых образцах, что объясняется содержанием природных антиоксидантов в выбранном сырье. Снижение количества вытекания жидкого жира объясняется хорошими технологическими свойствами растительных порошков и способностью ПАВ удерживать жировую фазу сливочного масла.

Ключевые слова: кондитерский полуфабрикат, растительные порошки, поверхностно-активное вещество, качество, функциональные числа.

DETERMINING THE OPTIMAL COMPOSITION OF GREEN SAUCE MIXTURE OVER THE CONTENT OF VITAMIN C

Y. Lyubtsova, N. Popova, T. Misyura

National University of Food Technologies

Key words:

Green sauce

Inputs

Output parameter

Vitamin C

Matrix planning

Mathematical-statistical method

Article history:

Received 06.11.2016

Received in revised form

05.12.2016

Accepted 21.12.2016

Corresponding author:

Y. Lyubtsova

E-mail:

npuht@ukr.net

ABSTRACT

This article considers how to determine the optimal ratio of the components of green sauce in order to maximize the amount of vitamin C in the mixture by mathematical and statistical analysis. According to the results of the experiments, the areas of factor space on linear regression, quadratic, special and full cubic models were determined. As a result, the optimal composition of the green sauce recipe was chosen, which is characterized by the best output of vitamin C in the finished product, therefore, the sauce can be considered a functional product.

ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО СКЛАДУ СУМІШІ ЗЕЛЕНИХ СОУСІВ ЗА ВМІСТОМ ВІТАМІНУ C

Ю.Л. Любцова, Н.В. Попова, Т.Г. Мисюра

Національний університет харчових технологій

У статті розглянуто шляхи визначення оптимального співвідношення компонентів зеленого соусу для максимального забезпечення добової потреби вмісту вітаміну C у суміші методом математико-статистичного аналізу. За підсумками проведених експериментів побудовано області факторного простору по регресійній лінійній, квадратичній, спеціальній і повній кубічній моделі, завдяки чому був підібраний оптимальний склад рецептури зеленого соусу, в якій вихід вітаміну C в готовому продукті є оптимальним, тому соус може вважатися функціональним продуктом.

Ключові слова: *зелений соус, вхідні фактори, вихідний параметр, вітамін C, матриця планування, математико-статистичний метод.*

Постановка проблеми. На сьогодні в різних науково-технічних галузях успішно застосовуються методи математичного планування експерименту, що істотно підвищує ефективність досліджень. Універсальність цих методів

забезпечує їх використання у різних галузях (хімії, медицині, біології тощо) [1].

Переважає більшість досліджуваних об'єктів відноситься до класу складних систем, що характеризуються значною кількістю взаємозалежних параметрів. Завдання дослідження таких систем полягає у встановленні залежності між вхідними параметрами — факторами і вихідними параметрами — показниками якості функціонування системи [2].

Актуальним є визначення залежності властивостей зелених соусів від вмісту компонентів суміші з максимально допустимим виходом вмісту вітаміну С. Для цього необхідно розглянути такі властивості багатокомпонентних систем, як функції складу, перехід до симплексної системи координат за допомогою діаграм «склад-властивість».

Метою статті є встановлення можливості застосування математико-статистичних методів для досліджень властивостей суміші при відомих характеристиках її складових і подальшого визначення оптимального складу зеленого соусу.

Виклад основних результатів дослідження. При розробленні оптимальної рецептури соусу було з'ясовано, що на його органолептичні властивості впливають всі компоненти. Зважаючи на це, на основі апріорної інформації у співвідношенні рецептурного складу було визначено три основні компоненти (базилік, петрушка та кріп), які було прийнято за вхідні параметри, та склад, який залишається незмінним і становить 76% від загальної рецептури. За вихідний параметр обрано вміст вітаміну С в готовій суміші.

На першому етапі експериментальної частини проведено досліди для визначення в основному незмінному складі суміші вхідних параметрів експерименту для подальшого розрахунку загального виходу зеленого соусу та вмісту в ньому вітаміну С. Експериментальні дані наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Вміст вітаміну С в основі суміші зеленого соусу

Основа складу зеленого соусу	Об'ємна частка, %	Вміст вітаміну С (мг) на 76 г продукту
Зелена цибуля	9	9,155
Часник	6	
Лимон	12	
Волоський горіх	12	
Соняшникова олія	22	
Цукор	2	
Сіль	1	
Усього	76	

У подальших дослідженнях була побудована матриця планування гратчастого плану Шеффе — симплекс-вершинний план (ступінь 2) з внутрішніми точками і загальним центроїдом (рис. 1) [3].

Такий підхід дає змогу скоротити кількість експериментів, провести статистичну обробку даних і побудувати область факторного простору для заданих значень параметрів оптимізації, використовуючи програмний пакет STATISTICA [4; 5].

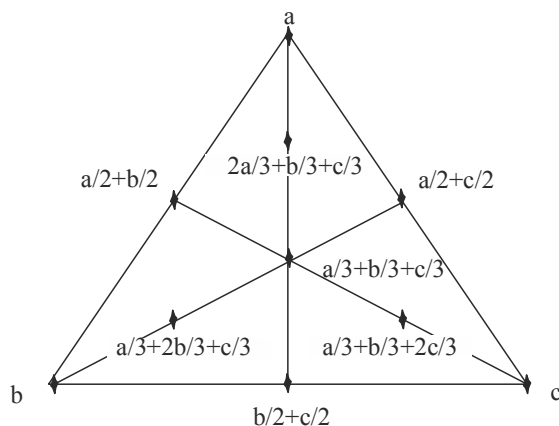


Рис. 1. Область факторного простору симплекс-вершини плану

Впливовими факторами в даному плані є вміст компонентів суміші зеленого соусу (базилік (x), петрушка (y), кріп (z)), що змінюється в кожному експерименті. В процесі реалізації матриці планування кожен експеримент повторювався три рази, що дає змогу більш точно провести статистичну обробку результатів.

Для того, щоб уникнути систематичних помилок при реалізації матриці планування, послідовність проведення експериментів вибиралася випадковим чином за допомогою генератора випадкових чисел програми STATISTICA. Слід зазначити, що основною метою реалізації даної матриці планування експериментів є визначення співвідношення вмісту компонентів суміші, що забезпечує максимально високий вміст вихідного параметра у складі.

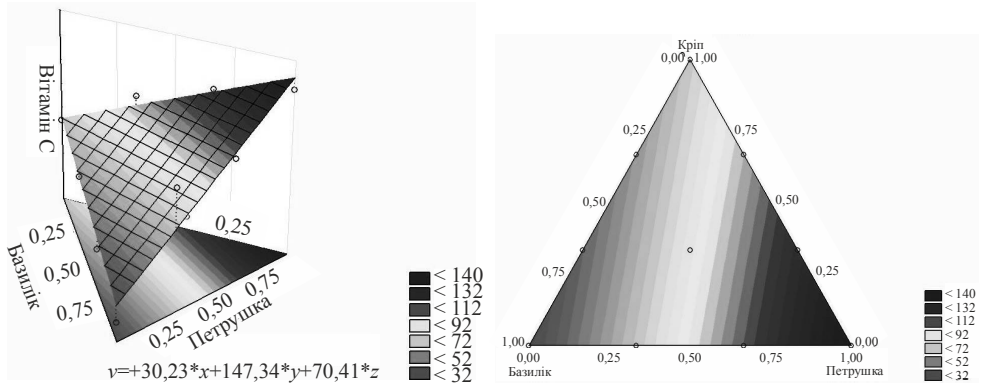
Для експерименту було вибрано 3 компоненти складу суміші x , y , z , які змінювалися від 0 до 100 г. Ці компоненти були обрані з аналізу даних апіорної інформації. В табл. 2 вказане середнє значення (v) вихідного параметра експерименту.

Таблиця 2. Матриця планування трифакторного експерименту симплекс-вершинного плану (ступінь 2)

№	№ пров. досл.	Базилік (x)	Петрушка (y)	Кріп (z)	Вітамін С v
1	3	1,000	0,000	0,000	162,5
2	2	0,000	1,000	0,000	137
3	5	0,000	0,000	1,000	76,25
4	1	0,500	0,500	0,000	102,8
5	6	0,500	0,000	0,500	42,15
6	4	0,000	0,500	0,500	81,75

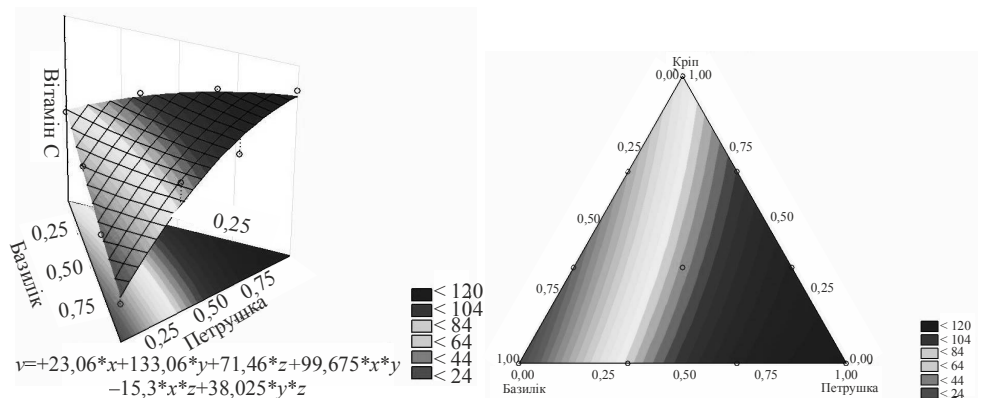
За результатами проведених експериментів були побудовані області факторного простору на основі регресійної моделі першого (рис. 2) і другого (рис. 3) порядку, де параметром оптимізації був вміст у суміші вітаміну С.

Величина вмісту вітаміну С (в мг), яка відповідає кольору забарвлення інтервалу, показана праворуч від діаграм.



Оцінка коефіцієнтів наведених поліномів проводилась таким чином: оскільки симплекс-гратчасті плани є насиченими, тобто число експериментальних точок у плані дорівнює числу коефіцієнтів шуканого полінома, для отримання розрахункових формул коефіцієнтів полінома зручно скористатися методом підстановки. Для отримання розрахункових формул у поліном послідовно підставлялись координати всіх точок плану, а замість виходів — відповідні даним точкам значення v . Рівняння регресії першого порядку наведено на рис. 2.

Модель другого порядку для трикомпонентної суміші визначена лінійним рівнянням з урахуванням вмісту вітаміну С та розрахована за рівнянням регресії другого порядку, що наведені на рис. 3.



Вибір цих значень для побудови поверхні відгуку обумовлений тим, що кожний компонент вносить свій оптимально максимальний внесок у рецептуру за вмістом вітаміну С. Крім того, з огляду на те, що кожен експеримент в матриці реалізовується тричі, можна оцінити статистичну стабільність повторюваності результатів і адекватність математичної моделі.

Аналізуючи рис. 2 і 3, слід зазначити, що мінімальний приріст маси зразків за заданим параметром оптимізації забезпечується при співвідношенні x :

$y: z$ — 0,5:0,5:0, а максимальний — при найбільшій концентрації компонентів z і y . Але враховуючи, що модель другого порядку може бути некоректною, тому що вона не дає змоги розглянути план поліномної функції в більш розгорнутому вигляді, тобто проводиться лише на 6 експериментів і задається параметрами 1:0,5:0, було прийнято рішення провести симплекс-вершинний план третього степеня за допомогою програми STATISTICA.

Для трифакторного експерименту симплекс-вершинного плану була побудована матриця на десять експериментів. Для більш точних результатів експерименти проводились двічі. В табл. 3 зображена матриця планування трифакторного експерименту симплекс-вершинного плану (ступінь 3) та вказане середнє значення (v) вихідних параметрів експерименту.

Таблиця 3. Матриця планування трифакторного експерименту симплекс-вершинного плану (ступінь 3)

№	№ пров. досл.	Базилік (x)	Петрушка (y)	Кріп (z)	Вітамін С v
1	5	0,333	0,000	0,667	57,3
2	8	1,000	0,000	0,000	16,3
3	3	0,333	0,667	0,000	103,1
4	1	0,000	0,333	0,667	103,2
5	6	0,667	0,000	0,333	35,6
6	10	0,000	0,667	0,333	123,4
7	9	0,667	0,333	0,000	102,5
8	4	0,333	0,333	0,333	79,1
9	7	0,000	0,000	1,000	81,7
10	2	0,000	1,000	0,000	148

За підсумками проведених експериментів були побудовані області факторного простору по регресійній спеціальній кубічній (рис. 4) і по повній кубічній (рис. 5) моделі.

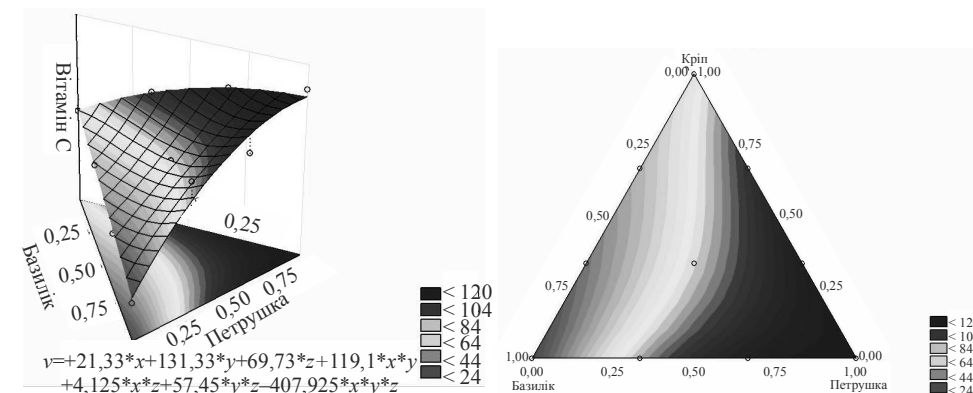


Рис. 4. Область факторного простору за регресійною спеціальною кубічною моделлю за вмістом вітаміну С

Рівняння регресії спеціальної і повної кубічної моделі наведено відповідно на рис. 4 і 5.

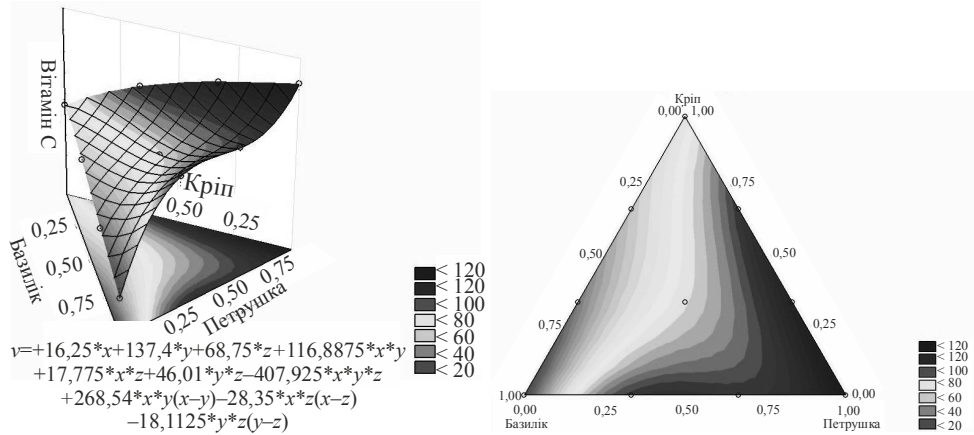


Рис. 5. Область факторного простору за регресійною повною кубичною моделлю за вмістом вітаміну С

Аналіз рис. 4 і 5 засвідчив, що мінімальний приріст маси зразків змінився відносно рис. 2, 3 і за заданим параметром оптимізації забезпечується при співвідношенні $x:y:z$ — 0,667:0,333:0, а максимальний — при найбільшій концентрації компонентів у y і z .

Після визначення оптимального значення компонентів розроблена нова рецептура, за якою був проведений експеримент з визначення вмісту вітаміну С у загальному складі зеленого соусу. Отримані дані наведені в табл. 4 у перерахунку на 100 г продукту.

Таблиця 4. Вміст вітаміну С в основі суміші зеленого соусу

Основа складу зеленого соусу	Об'ємна частка, %	Вміст вітаміну С(мг) на 100 г продукту
Базилік	6	47,34
Петрушка	20	
Кріп	10	
Зелена цибуля	9	
Часник	6	
Лимон	12	
Волоський горіх	12	
Соняшникова олія	22	
Цукор	2	
Сіль	1	
Всього	100	

Виходячи з отриманих даних, можна зробити висновок, що 100 г продукту зеленого соусу може вважатися функціональним продуктом, тому що забезпечення добової потреби у вітаміні С складає 90—100 мг, а в нашому випадку при вживанні продукту можна задовольнити добову потребу в вітаміні С на 47%. Забезпечивши незмінний основний склад, ми отримали гарні органолептичні та фізико-хімічні показники якості зеленого соусу, які наведені в табл. 5 та 6. Завдяки математико-статистичному методу був підібраний опти-

мальний склад рецептури зеленого соусу, в якій вихід вітаміну С в готовому продукті є оптимальним, а соус може вважатися функціональним продуктом.

Таблиця 5. Органолептична характеристика створеного зеленого соусу

Показник	Характеристика
Зовнішній вигляд	Однорідний в'язкий продукт. Наявність частинок прянощів, добавок, включень відповідно до рецептури. Колір однорідний за своєю масою, світло-зелений
Смак	Присмний, ніжний, з кисло-солодким присмаком
Аромат	Чистий, присмний, пряний, яскраво виражений

Таблиця 6. Фізико-хімічні показники зеленого соусу

Показник	Характеристика
Масова частка сухих речовин, %	23
Титрована кислотність (у перерахунку на яблучну кислоту), мг/100г	1,5
Масова частка кухонної солі	2
Сторонні домішки	Відсутні

Висновки

Застосування математико-статистичного методу дало змогу отримати оптимальний склад рецептури зеленого соусу шляхом переходу до симплексної системи координат за допомогою діаграм «склад-властивість», а також завдяки аналізу канонічної форми полінома.

Література

1. Зедгунідзе И.Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. — Москва : Наука, 1976. — С. 186—203.
2. Налимов В.В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / В.В. Налимов, Н.А. Чернова. — Москва : Наука, 1965. — 341 с.
3. Хикс Ч.Р. Основные принципы планирования эксперимента. — Москва : Мир, 1967. — 69 с.
4. Теория эксперимента [Электронный ресурс] : Курс лекций в 2 ч. Ч. 1 / А.В. Блохин. — Минск : центр «Электронная книга БГУ», 2003 — 68 с. — Режим доступа: <http://anubis.bsu.by/publications/elresources/Chemistry/blohin1.pdf>.
5. Теория эксперимента [Электронный ресурс]: Курс лекций в 2 ч. Ч. 2. / А.В. Блохин. — Минск: центр «Электронная книга БГУ», 2003 — 68 с. — Режим доступа: <http://anubis.bsu.by/publications/elresources/Chemistry/blohin2.pdf>.
6. Пантелеев А.В. Методы оптимизации в примерах и задачах: Учеб. пособие / А.В. Пантелеев, Т.А. Летова. — 2-е изд., испр. — Москва: Высш. шк., 2005. — 544 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА СМЕСИ ЗЕЛЕННОГО СОУСА ПО СОДЕРЖАНИЮ ВИТАМИНА С

Ю.Л. Любцова, Н.В. Попова, Т.Г. Мисюра

Национальный университет пищевых технологий

В статье рассматриваются пути определения оптимального соотношения компонентов зеленого соуса для максимального обеспечения суточной по-

требности содержания витамина С в смеси методом математико-статистического анализа. По итогам проведенных экспериментов построены области факторного пространства по регрессивной линейной, квадратичной, специальной и полной кубической модели, благодаря чему был подобран состав рецептуры зеленого соуса, в которой выход витамина С в готовом продукте является оптимальным, поэтому соус можно считать функциональным продуктом.

Ключевые слова: зеленый соус, входные факторы, выходной параметр, витамин С, матрица планирования, математико-статистический метод.

SCIENTIFIC BASIS FOR FEASIBILITY OF USING GLUCOSE SYRUP IN YOGURTS

T. Marchenko, H. Polishchuk

National University of Food Technologies

Key words:

*Yogurt
Glucose syrup
Degree of
saccharification
Viscosity
Water-retaining capacity*

Article history:

Received 13.11.2016
Received in revised form
14.12.2016
Accepted 25.12.2016

Corresponding author:

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

ABSTRACT

It has been proved that it is feasible to use glucose syrup of various degrees of saccharification in yogurts. It has been grounded that the relative viscosity of yogurt and water-retaining capacity of its clusters depend on the degree of saccharification of glucose syrup. The largest structuring ability of caramel syrup containing dextrin has been proved. A slight slowdown of fermentation process has been revealed in the presence of higher sugars in syrup with low and medium values of dextrose equivalent. Instead, the syrup of high degrees of saccharification almost does not influence the activity of lactic acid bacteria. According to the results of the study, the possibility of using glucose syrup of medium and low degrees of saccharification in yogurts for complete replacement of skimmed milk powder and sugar has been proved.

НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КРОХМАЛЬНОЇ ПАТОКИ У СКЛАДІ ЙОГУРТІВ

Т.С. Марченко, Г.Є. Поліщук

Національний університет харчових технологій

У статті науково обгрунтовано доцільність застосування крохмальної патоки різного ступеня оцукрювання у складі йогуртів. Встановлено залежність умовної в'язкості йогурту і вологоутримувальної здатності його згустків від ступеня оцукрювання крохмальної патоки. Доведено найбільшу структуруючу здатність патоки карамельної, що містить декстрини. Виявлено незначне гальмування процесу зброджування за наявності вищих цукрів у складі патоки з низьким і середнім значенням дектрозного еквівалента. Натомість патока високого ступеня оцукрювання практично не впливає на активність молочнокислих бактерій. За результатами проведеного дослідження доведено можливість застосування у складі йогурту крохмальної патоки середнього та низького ступеня оцукрювання для повної заміни сухого знежиреного молока і цукру.

Ключові слова: йогурт, патока крохмальна, ступінь оцукрювання, в'язкість, вологоутримувальна здатність.

Постановка проблеми. Кисломолочні продукти, у тому числі і йогурти, займають вагоме місце у харчуванні людини за рахунок функціональних

властивостей і високого ступеня засвоюваності складових компонентів. Для підвищення харчової цінності йогуртів до їх складу зазвичай вводять різноманітні наповнювачі і добавки, які збагачують готовий продукт біологічно-активними речовинами, про- та пребіотиками, білковими концентратами і виконують певні технологічні функції [1—4].

У той же час невирішеним залишається питання гарантованого формування щільної, характерної для йогуртів консистенції без застосування стабілізаторів структури або білкових концентратів за вмісту сухих знежирених речовин не нижче 9,5% відповідно до ДСТУ 4343-2004 «Йогурти. Загальні технічні умови». Це питання особливо актуальне у технології питних йогуртів з низькою масовою часткою жиру та нежирних, що доводить доцільність пошуку нових видів натуральних, технологічно ефективних структуруючих рецептурних компонентів.

Аналіз існуючих функціонально-технологічних харчових інгредієнтів вітчизняного виробництва дав змогу виокремити з них доволі перспективну групу концентратів вуглеводів, спроможну виконувати у складі йогуртів роль підсолоджувачів, загущувачів джерела сухих речовин. Саме крохмальна патока різного вуглеводного складу є доволі дешевою і безпечною для використання у харчових продуктах і тому давно та успішно використовується в різних галузях харчової промисловості [5].

Стосовно групи ферментованих молочних продуктів, йогуртів та інших кисломолочних напоїв, а також сиркових десертів, слід зазначити, що за кордоном, особливо в Північній Америці, патоки використовують для повної або часткової заміни рецептурного цукру і/або в складі фруктового наповнювача. Правильно обраний баланс між цукром і патокою надає можливість посилювати аромат завдяки наявності «вільної» фруктози та дещо зменшувати солодкість готового продукту, оскільки, як відомо, солодкість сахарози у певній мірі пригнічує аромат. Крім того, наявність у системі моноцукрів (глюкози і фруктози) знижує рівень активності води, збільшуючи термін придатності до зберігання молочних продуктів [6].

Патока серед усіх підсолоджуючих інгредієнтів, що застосовуються у виробництві кисломолочних йогуртів, є найдешевшим натуральним джерелом сухих речовин. З точки зору використання патоки як підсолоджуючого компонента економічний ефект буде мало помітним, оскільки, порівняно з традиційно використовуваною сахарозою, вартість патоки не набагато нижча. Проте рідкі патоки і сиропи містять багато сухих речовин (78—82%), що дасть змогу досягати нормативного показника сухих речовин у йогурті за рахунок часткової або повної заміни сухого знежиреного молочного залишку (СЗМЗ). Також можливе скорочення внутрішньоцехових витрат через легкість обробки сумішей (виключаються технологічні операції зважування і розчинення цукру, фільтрування сиропу), що може суттєво знижувати собівартість готового продукту без зміни його органолептичних характеристик.

Перевагою застосування крохмальних патоk є також їх мікробіологічна чистота та фактична стерильність, що досягається за рахунок проведення в технологічному циклі виробництва операції іонообмінного очищення —

фільтрування сиропу через мікробіологічні фільтри з розмірами пор 0,45 мкм. Наприклад, дослідження показників якості глюкозно-фруктозного сиропу ГФС-42 показали, що живі мікроорганізми в ньому відсутні повністю [7].

Зважаючи на вказане вище, **метою дослідження** є наукове обґрунтування можливості використання у складі йогуртів натурального структуруючого та стабілізуючого компонента — патоки крохмальної різного ступеня оцукрювання.

Матеріали і методи дослідження. Йогурт готували відповідно до технологічних інструкцій для одержання готового продукту відповідно до вимог ДСТУ 4343: 2004 «Йогурти. Загальні технічні умови» [8]. Як контрольний зразок обрано рецептуру йогурту з масовою часткою жиру 1,5% із сухим знежиреним молоком і цукром [9]. Паралельно готували три зразки йогурту, в яких цукор і сухе знежирене молоко замінювали на крохмальну патоку різного ступеня оцукрювання — патоку карамельну низькооцукрену ПКН (декстрозний еквівалент ДЕ дорівнює 30), патоку крохмальну середнього ступеня оцукрювання ІГ-42 (ДЕ=42) та глюкозно-фруктозний сироп ГФС (ДЕ = 98). Перерахунок рецептур здійснювали арифметичним методом за балансом сухих речовин, вміст яких у сухому молоці та патоках суттєво відрізняється.

Зразки сквашували йогуртовою закваскою прямого внесення на чистих культурах молочнокислих мікроорганізмів (*Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium lactis*) за температури 41 ± 1 °C до кислотності згустку 80 °T, що вимірювали титриметричним методом.

Вміст сухих речовин у патоці визначали рефрактометричним методом, що ґрунтується на вимірюванні показника кута заломлення світлового променя дослідного зразка.

Масову частку сухих речовин А у відсотках обчислювали за формулою:

$$A = X \cdot K,$$

де X — показник рефрактометра при температурі 20 °C; K — коефіцієнт перерахунку «видимої» масової частки сухих речовин у «дійсному» [10].

За кінцевий результат приймали середнє арифметичне значення двох паралельних вимірювань, округлене до першого десяткового знака.

В'язкість вимірювали з допомогою віскозиметра ВЗ-246, що дає змогу визначити показник умовної в'язкості кисломолочного згустку. Перед проведенням досліджень зразки за температури 20 °C ретельно перемішували впродовж трьох хвилин.

Вологоутримувальну здатність визначали фільтруванням 100 см³ кисломолочних згустків через паперовий фільтр і вимірюванням об'єму відділеної сироватки.

Загальну кількість бактерій МАФАМ і життєздатних молочнокислих мікроорганізмів визначали підрахунком мікроорганізмів із застосуванням: термостату ТС-80М, приладу для підрахунку колоній СКМ-1, мікроскопа МІКМЕД 1.

Результати та їх обговорення. На першому етапі дослідження рефрактометричним методом визначено вміст сухих речовин у зразках патоки з різним ступенем оцукрювання (табл. 1).

Таблиця 1. Вміст сухих речовин у зразках крохмальної патоки

Найменування патоки	Вміст сухих речовин, %
ПКН	83,0±1,1
ІГ-42	82,5±1,6
ГФС	78,0±0,8

Відповідно до уточненої масової частки сухих речовин у патоках було перераховано рецептури за балансом сухих речовин у нормалізованих сумішах для виробництва досліджуваних зразків йогурту. За сталі показники хімічного складу для всіх зразків була прийнята масова частка сухих речовин — 17,9%, у тому числі масова частка сухого знежиреного залишку — 16,3%.

Уточнені рецептури йогурту з патокою наведено у табл. 2.

Таблиця 2. Рецептури йогурту з масовою часткою жиру 1,5% (в кг на 1000 кг продукту без врахування втрат)

Найменування інгредієнтів	Контрольний зразок	Йогурт з патоками		
		ПКН	ІГ-42	ГФС
Молоко з масовою часткою жиру 3,2% (СЗМЗ = 8,1%)	484,4	484,4	484,4	484,4
Молоко знежирене з масовою часткою жиру 0,05 % (СЗМЗ = 8,1%)	423,9	405,6	404,8	398,1
Сухе знежирене молоко (СЗМЗ = 96%)	41,4	—	—	—
Цукор-пісок	50,3	—	—	—
Патока	—	110,0	110,8	117,5
Всього	1000,0	1000,0	1000,0	1000,0

Можна передбачити, що органолептичні і фізико-хімічні характеристики йогурту з крохмальною патокою будуть значною мірою залежати від її декстрозного еквівалента. За підвищення ДЕ патока все більше впливатиме на солодкість йогурту, але менше — на в'язкість кисломолочного згустка. Збільшення відсоткового вмісту декстринів у патоці підвищуватиме також і показник активності води та осмотичний тиск у водній фазі йогуртів. За таких умов життєдіяльність заквасочної мікрофлори може пригнічуватися з відповідним збільшенням часу сквашування. Результати перевірки даного припущення наведено на рис. 1. За час сквашування приймали тривалість досягнення титрованої кислотності не нижче 80 °Т.

Значення умовної в'язкості йогурту з ПКН та ІГ-42 ближчі до таких для контрольного зразка і відрізняються від нього приблизно на 10 с, натомість в'язкість патоки з ГФС доволі незадовільна і має різницю вже до 25...30 с. Зважаючи на це, можна зробити висновок, що ГФС у складі йогурту спроможний виконували лише роль підсолоджувача. Що стосується впливу патоки на час сквашування, очевидним є незначне гальмування цього процесу за наявності ПКН та ІГ-42, ймовірно, через наявність вищих цукрів у складі паток вказаних марок. Натомість час сквашування молока за наявності ГФС практично однаковий з контрольним зразком. Моноцукри, у певній мірі, активують молочнокисле зброджування.

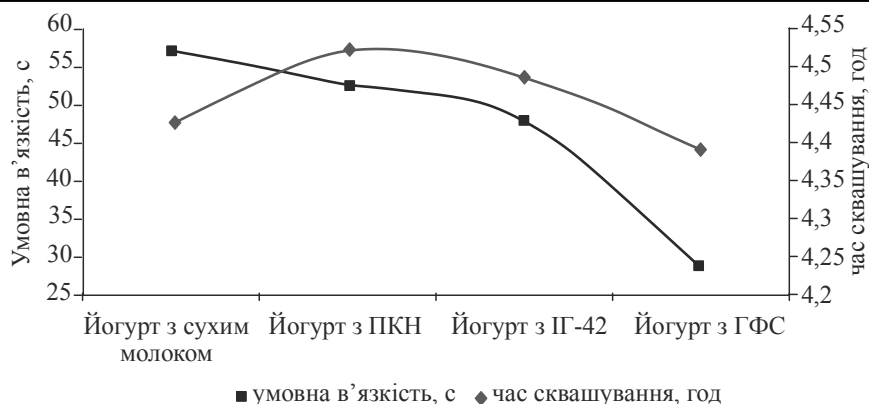


Рис. 1. Умовна в'язкість і час сквашування йогурту з крохмальними патоками різного ступеня оцукрювання

За результатами вимірювання умовної в'язкості дослідних зразків йогуртів було зроблено спробу виявити вплив декстрозного еквівалента крохмальних патонок на процес структурування згустків (рис. 2).

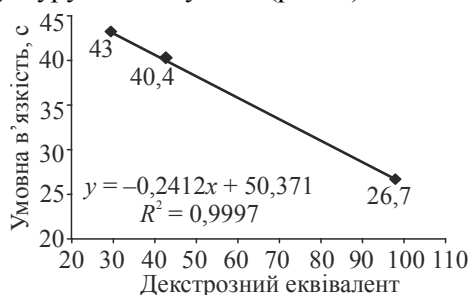


Рис. 2. Залежність умовної в'язкості йогуртів від декстрозного еквівалента патоки

На рис. 2 наведено лінійну залежність умовної в'язкості від декстрозного еквівалента патоки з досить високим коефіцієнтом кореляції, що свідчить про існування такого ефекту.

Важливою для виробництва структурованих кисломолочних напоїв характеристикою крохмальних патонок є їх здатність зв'язувати вологу та стабілізувати кисломолочний згусток. Вищі цукри ефективно структурують харчові системи, а моно- і дицукри більше впливають на вміст зв'язаної води, її активність і ступінь солодкості готового продукту.

Вуглеводний склад патонок різного ступеня оцукрювання наведено в табл. 3.

Таблиця 3. Вуглеводний склад крохмальної патоки [6; 7]

Вид патоки	Вміст			
	Редукуючих цукрів			вищих цукрів, %
	глюкози, %	фруктози, %	мальтози (мальтотріози), %	
ПКН	11—12	—	19—20	65—70
ІГ-42	17	—	13(12)	58
ГФС	25	10	43(7)	15

Вищі цукри є харчовими гідроколоїдами, тому збільшення їх вмісту має посилювати вологоутримувальну здатність кисломолочних згустків. Результати перевірки даного припущення наведено на рис. 3

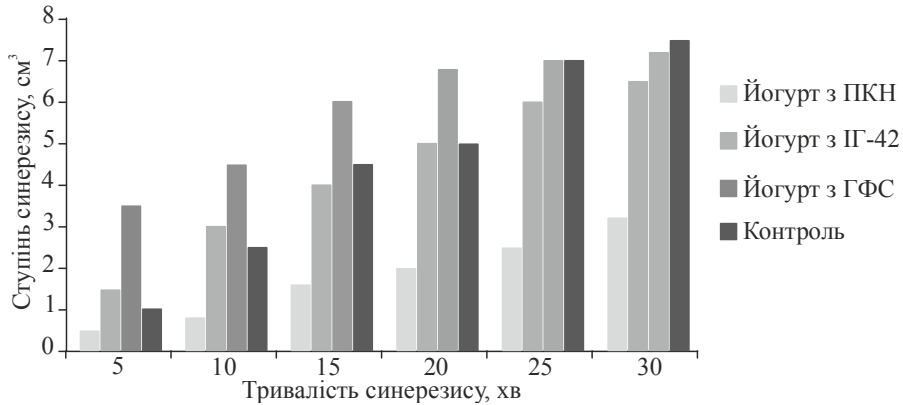


Рис. 3. Вологотримувальна здатність зразків йогурту

Діаграма, наведена на рис. 3, підтверджує суттєве (більш ніж удвічі) підвищення вологоутримувальної здатності кисломолочних згустків йогурту за наявності патоки карамельної, і незначне покращення цього показника для патоки середньоцукреної (ІГ-42), що вирішує проблему небажаного синерезису в готовому продукті.

Високий вміст підсолоджуючих компонентів може пригнічувати життєдіяльність молочнокислих бактерій [11]. Проте сучасні заквашувальні препарати з використанням чистих штамів молочнокислих бактерій є доволі толерантними до концентрацій сахарози в межах 10—15% з можливим незначним подовженням часу сквашування [12]. У той же час моноцукри, які містяться в патоках (глюкоза і фруктоза), можуть легко ферментуватися мікроорганізмами, що необхідно перевірити.

Загальну кількість мікроорганізмів і вміст молочнокислих бактерій у йогуртах з різними підсолоджувачами представлено в табл. 4.

Таблиця 4. Вміст молочнокислих бактерій і загальна кількість мікроорганізмів у йогурті з цукром та крохмальною патокою

Найменування зразків йогуртів	Кількість МАФАМ, КОУ в 1см ³	Кількість життєздатних молочнокислих бактерій, КОУ в 1см ³
Йогурт із цукром і сухим молоком	$4,0 \cdot 10^8$	$5,0 \cdot 10^7$
Йогурт з ПКН	$3,5 \cdot 10^8$	$3,0 \cdot 10^7$
Йогурт з ІГ-42	$4,0 \cdot 10^8$	$4,0 \cdot 10^7$
Йогурт з ГФС	$4,0 \cdot 10^8$	$4,5 \cdot 10^7$

Відповідно до табл. 4, зразок йогурту з низькоцукреною патокою в кінці сквашування містив найменшу кількість життєздатних форм мікроорганізмів закваски, що пояснюється її вуглеводневим складом (табл. 3). Високий вміст вищих цукрів і декстринів і, як наслідок, менша частка простих, легкозбро- джуваних цукрів у поєднанні з підвищеним осмотичним тиском за рахунок

впливу глюкози дещо пригнічують діяльність мікрофлори закваски. Найближчим за впливом на активність мікроорганізмів до цукру є ГФС. Але, незважаючи на наявність фруктози як пребіотики, ГФС порівняно з цукром виявив практично однаковий вплив на розвиток мікрофлори, ймовірно, через суттєвий залишок декстринів. Отже, наявність ГФС як вуглеводного компонента у складі йогурту практично не впливає на перебіг молочнокислого процесу. Що стосується патоки середньо- та низькооцукреної, то слід відмітити незначне зниження активності мікрофлори, яке в цілому дає змогу досягти у продукті мінімально необхідного вмісту молочнокислої мікрофлори, а саме: в 1 см^3 не менше 10^7 КУО.

Таким чином, науково підтверджено можливість застосування патоки різного ступеня оцукрювання у складі йогурту питного з метою заміни цукру і сухого знежиреного молока. Внесення крохмальної патоки у молочну основу цілком можливе до початку процесу сквашування, оскільки вона практично не впливає на перебіг молочнокислого процесу. Зважаючи на необхідність формування характерних для йогурту органолептичних, фізико-хімічних і мікробіологічних показників, цілком можна рекомендувати у його складі патоку карамельну та патоку марки ІГ-42, які виконуватимуть функції підсолоджувачів і структуруючих компонентів.

Подальші дослідження за обраним напрямом будуть присвячені встановленню раціонального ступеня заміни СЗМЗ на патоку крохмальну для досягнення балансу між технологічною та економічною доцільністю такого рішення.

Висновки

1. Встановлено залежність умовної в'язкості йогурту від дектрозного еквівалента внесеної в нього крохмальної патоки, що обумовлюється зміною вмісту структуруючих вищих цукрів за різного ступеня оцукрювання патоки.

2. Доведено, що патока низькооцукрена (ПКН) і патока середнього ступеня оцукрювання (ІГ-42) суттєво покращують вологоутримувальну здатність кисломолочних згустків, що гарантує високу якість йогурту.

3. Виявлено, що патока карамельна з високим вмістом вищих цукрів, які погано зброджуються заквашувальною мікрофлорою, незначно подовжує час сквашування молока в технологічному процесі одержання йогурту.

4. За результатами комплексного дослідження рекомендовано застосовувати у складі йогурту крохмальну патоку середнього та низького ступеня оцукрювання як природного стабілізуючого і підсолоджуючого компонента.

Література

1. Курнакова О.Л. Разработка и оценка потребительских свойств обогащенных йогуртов с использованием растительных компонентов — дисс. на соиск. степени канд. техн. наук по спец. 05.18.15. — Технология и товароведение пищевых продуктов и функционального и специализированного назначения и общественного питания. — Орел, 2015. — 166 с.
2. Tamime A. The microstructure of set-style, natural yogurt made by substituting microparticulate whey protein for milk fat / A. Tamime et al. // Intern. Journal of Dairy Technology. — 1995. — Vol. 48, # 4. — P. 107—111.
3. Крючкова В.В. Перспективы развития функциональных продуктов питания / В.В. Крючкова // Молочная промышленность. — 2011. — № 8. — С. 36—37.

4. Кудрявцева Т.А. Кисломолочный продукт, обогащенный магнием / Т.А. Кудрявцева // Молочная промышленность. — 2012. — № 2. — С. 65—66.
5. Разработка молочных продуктов на основе сахарозаменителей / Е.А. Яковлева, А.И. Гнездилова, В.Б. Шевчук и др. // Молочнохозяйственный вестник. — № 1 (13). — 2014. — С. 86—90.
6. Богданов Е.С. Использование в молочных продуктах глюкозных сиропов / Е.С. Богданов // Продукты, ингредиенты. — 2008. — № 1. — С. 88—91.
7. Богданов Е. Глюкозные, мальтозные и глюкозно-фруктозные сиропы. Функциональные особенности при производстве мороженого и замороженных десертов / Е. Богданов // Продукты и ингредиенты. — 2008. — № 3. — С. 76—78.
8. ДСТУ 4343: 2004 «Йогурти. Загальні технічні умови». — Введ. 2005—10—01. — Київ : Держспоживстандарт України. — 11 с.
9. Степанова Л.И. Справочник технолога молочного производства. Технология и рецептуры. Т.1. Цельномолочные продукты. — 2-е изд. — Санкт-Петербург : ГИОРД, 2004. — С. 139
10. ДСТУ 4498-2005 «Патока крохмальна. Технічні умови». — Введ. 2005—12—28. — Київ : Держспоживстандарт України. — 30 с.
11. McGregor J.U. Effect of Sweeteners on Major Volatile Compounds and Flavor of Yogurt / J.U. McGregor, C.H. White // Journal of Dairy Science. — Vol. 70, # 9. — 1987. P. 1828—1834.
12. Чагаровский А.П. Закваски YO-FLEX компании CHR. HANSEN для производства йогурта / А. П. Чагаровский, О. Н. Богач // Молоч. пром-сть. — 2003. — № 3. — С. 8—10.

НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КРАХМАЛЬНОЙ ПАТОКИ В СОСТАВЕ ЙОГУРТА

Т.С. Марченко, Г.Е. Полищук

Национальный университет пищевых технологий

В статье научно обоснована целесообразность применения крахмальной патоки различной степени осахаривания в составе йогуртов. Установлена зависимость вязкости йогурта и влагоудерживающей способности его сгустков от степени осахаривания крахмальной патоки. Доказана наибольшая структурирующая способность патоки карамельной, которая содержит декстрины. Выявлено незначительное торможение процесса сбраживания при наличии высших сахаров в составе патоки с низким и средним значением дектрозного эквивалента. В то же время, патока с высокой степенью осахаривания практически не влияет на активность молочнокислых бактерий. В результате проведенного исследования доказана возможность использования в составе йогурта крахмальной патоки средней и низкой степени осахаривания для полной замены сухого обезжиренного молока и сахара.

Ключевые слова: йогурт, патока крахмальная, степень осахаривания, вязкость, влагоудерживающая способность.

ДО ВІДОМА АВТОРІВ

Шановні колеги!

Редакційна колегія журналу «Наукові праці Національного університету харчових технологій» запрошує вас до публікації наукових праць.

До друку приймаються рукописи, які раніше не були опубліковані в друкованих та електронних виданнях. Автор, який подає матеріали до друку, зберігає за собою всі авторські права та надає відповідному виданню право першої публікації, дозволяючи розповсюджувати даний матеріал із зазначенням авторства й джерела первинної публікації, а також погоджується на розміщення її електронної версії на сайті Національної бібліотеки ім. В.І. Вернадського та у відкритому доступі в електронній мережі університету і на сайті журналу <http://journal.nuft.edu.ua>. Автор надає редакційній колегії на рецензування та відхилення поданих для опублікування матеріалів. В одному номері може бути опублікована лише одна стаття автора (як власна, так і в співавторстві).

У редакційно-видавничий відділ необхідно представити:

- файл статті;
- рецензію доктора наук певної галузі (за тематичною спрямованістю статті). Якщо один із авторів статті є доктором наук, то рецензія необов'язкова;
- роздруковку тексту статті, що відповідає наданому файлу;
- заяву з підписами автора(-ів) про те, що надіслана стаття раніше не друкувалася і не подана до будь-яких інших видань;
- витяг з протоколу засідання кафедри (підрозділу) з рекомендацією роботи до друку.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

Статті подаються у вигляді вчитаних роздручків 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, українською та російською мовами).
3. Ініціали та прізвища авторів англійською, українською та російською мовами (не більше чотирьох авторів).
4. Анотація англійською, українською та російською мовами (не менше 650 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, українською та російською мовами).
6. Структура текстової частини:
 - постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими практичними завданнями;
 - аналіз останніх досліджень і публікацій, на які спирається автор;
 - формулювання мети статті;
 - викладення основного матеріалу;
 - висновки і перспективи подальших наукових досліджень.
7. Після тексту статті в алфавітному або порядку цитування в тексті наводиться список літературних джерел (не менше п'яти джерел, не більше дванадцяти). Бібліографічні описи оформляються згідно з ДСТУ ГОСТ 7.1:2006, ДСТУ ГОСТ 7.80:2007 і ДСТУ3582:2013. 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.